

EXPOSITION
UNIVERSELLE
INTERNATIONALE
DE 1878
À PARIS

CONFÉRENCES

DU PALAIS

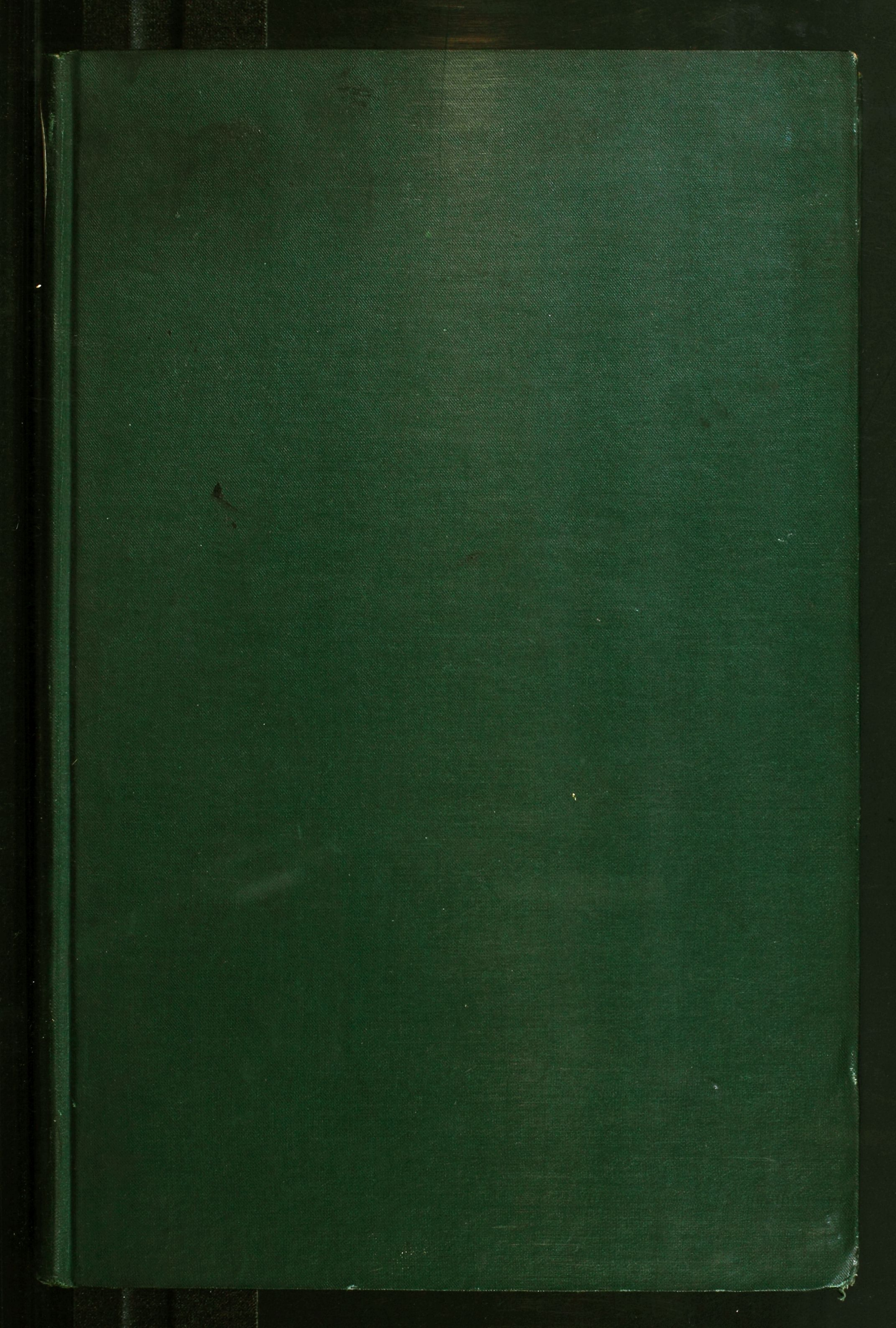
DU

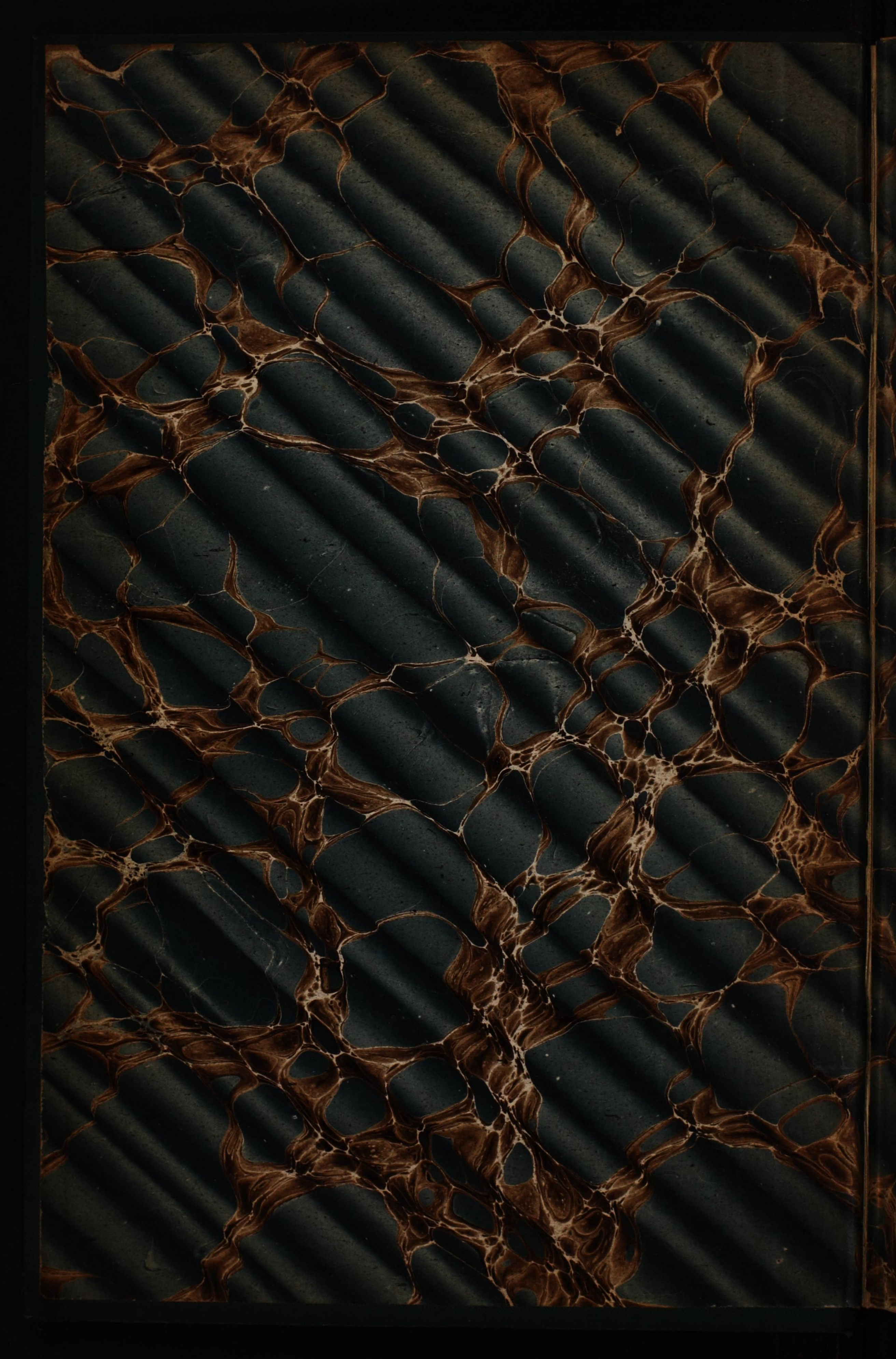
TROCADÉRO

1

INDUSTRIE.
CHEMINS DE FER.
TRAVAUX PUBLICS.
AGRICULTURE.





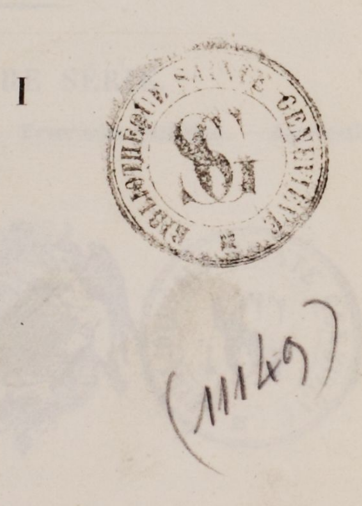






CONFÉRENCES
DU PALAIS DU TROCADÉRO.

I



MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DU COMMERCE.

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1878, A PARIS.

CONGRÈS ET CONFÉRENCES DU PALAIS DU TROCADÉRO.

COMPTES RENDUS STÉNOGRAPHIQUES
PUBLIÉS SOUS LES AUSPICES
DU COMITÉ CENTRAL DES CONGRÈS ET CONFÉRENCES
ET LA DIRECTION DE M. CH. THIRION, SECRÉTAIRE DU COMITÉ,
AVEC LE CONCOURS DES BUREAUX DES CONGRÈS ET DES AUTEURS DE CONFÉRENCES.

CONFÉRENCES
DU PALAIS DU TROCADÉRO.

PREMIÈRE SÉRIE.

Industrie. — Chemins de fer. — Travaux publics. — Agriculture.



PARIS.
IMPRIMERIE NATIONALE.

M DCCC LXXIX.

PALAIS DU TROCADÉRO. — 8 JUILLET 1878.

CONFÉRENCE

SUR

LES MACHINES COMPOUND

À L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1878, COMPARÉES AUX MACHINES CORLISS,

PAR M. DE FRÉMINVILLE,

DIRECTEUR DES CONSTRUCTIONS NAVALES, EN RETRAITE, PROFESSEUR À L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES.

BUREAU DE LA CONFÉRENCE:

Président :

M. le général Morin, directeur du Conservatoire des arts et métiers.

Assesseurs :

MM. Forquenot, ingénieur de la marine;
Mazeline, ingénieur constructeur;
Tresca, membre de l'Institut, sous-directeur du Conservatoire des arts et métiers.

La séance est ouverte à 2 heures.

M. le général Morin, *président*. Messieurs, en m'appelant à l'honneur de présider cette séance, M. Duclerc, dont vous auriez entendu la voix avec beaucoup plus d'intérêt que la mienne, a voulu sans doute appeler de nouveau votre attention, et montrer une fois de plus, si cela était nécessaire, combien la science et l'industrie ont d'intimes liens. Le directeur du Conservatoire, Messieurs, en a trop de preuves tous les jours par le succès de l'enseignement des professeurs éminents qui sont appelés à montrer chaque jour l'alliance de la science avec l'industrie, et les applications continuelles et si heureuses de la science à l'industrie.

Cette exposition, comme les précédentes, a manifesté d'une manière

trop évidente cette alliance, et cette nécessité intime pour l'industrie de marcher toujours d'accord avec les principes de la science, pour qu'il soit nécessaire d'insister.

Vous allez entendre tout à l'heure un professeur distingué, un ingénieur renommé dans le corps où il a si longtemps servi, vous fournir une preuve de plus des succès et des avantages considérables que l'on peut recueillir par cette alliance.

La parole est à M. de Fréminville. (Applaudissements, qui redoublent à l'apparition de M. de Fréminville à la tribune.)

M. de Fréminville. Messieurs, les machines motrices sont en nombre considérable dans les galeries du Champ de Mars. Elles présentent des types excessivement variés, et, par leur variété même, témoignent de l'importance des efforts qui ont été entrepris pour apporter de nouveaux perfectionnements à la machine à vapeur.

Ces machines peuvent se grouper en deux grandes classes :

La première comprend les appareils du type Corliss, avec toutes les variantes qu'il comporte, et que l'on peut réunir sous la désignation générale de machines à quatre distributeurs;

La deuxième renferme les machines auxquelles, depuis quelques années, on a pris l'habitude de donner le nom de machines *Compound;* désignation empruntée à l'Angleterre et qui s'applique à toutes les machines dans lesquelles la détente est opérée par l'action successive de la vapeur dans deux ou un plus grand nombre de cylindres, quelles que soient d'ailleurs les différentes combinaisons dont ces cylindres multiples sont susceptibles.

Que l'on ait recours à l'un ou à l'autre des deux systèmes, le but proposé est toujours le même, c'est de résoudre l'éternel problème qui s'est présenté dès la création de la machine à vapeur : obtenir des moteurs économiques, en réduisant la consommation de vapeur, ou, ce qui est la même chose, la consommation de combustible, au minimum.

Au début, la tâche était relativement facile; on se trouvait en présence d'appareils peu perfectionnés, dans lesquels la consommation était considérable; et, grâce à des modifications assez simples, on pouvait avancer à grands pas dans la voie du progrès; ainsi, par la création des distributeurs Farcot ou Meyer, la consommation de combustible a pu être abaissée à près de moitié de ce qu'elle était auparavant. Actuellement la difficulté a grandi avec le degré de perfection des machines qui servent de point de départ, et il n'est plus possible d'avancer d'un pas aussi rapide; si l'on parvient à réaliser des économies de 10 à 15 p. 0/0, on devra s'estimer heureux, et encore ce résultat ne pourra-t-il être obtenu qu'au prix des

plus grands efforts et en ayant recours à toutes les ressources de la mécanique moderne.

La véritable difficulté du problème consiste à réaliser d'une manière efficace les grandes détentes, ou à en retirer les avantages économiques annoncés par les calculs théoriques; c'est la difficulté contre laquelle on a eu constamment à lutter.

Il est facile d'intercepter l'admission de la vapeur dans un cylindre à tel point voulu de la course du piston, ce qui semblerait à première vue devoir suffire pour obtenir des détentes aussi élevées qu'on le voudrait; mais quand on a comparé les résultats constatés par l'expérience aux indications de la théorie, basée sur une semblable évaluation de la détente, ils ont été trouvés tellement inférieurs à ceux que l'on attendait, que beaucoup d'ingénieurs ont déclaré que la théorie était vaine, qu'il était inutile de faire de la détente, et que, dans bien des circonstances, en effet, ils y ont renoncé.

Ce désaccord apparent est facile à expliquer; il provient de ce qu'au début une théorie élémentaire pouvait suffire pour expliquer le fonctionnement des machines très imparfaites auxquelles on en faisait application, mais qu'elle s'est trouvée en défaut lorsqu'il s'est agi de machines plus perfectionnées. Ce n'est que depuis peu de temps qu'on est parvenu à lui donner un degré d'approximation plus grand, permettant d'éviter les mécomptes que je viens d'indiquer.

Quand la dépense de vapeur ou de charbon est calculée d'après la détente nominale, on ne fait intervenir dans le calcul que les volumes engendrés par le piston, soit pendant l'introduction de la vapeur à pleine pression, soit pendant la course entière; le rapport de ces deux volumes donne la détente. Mais, en réalité, les volumes qui interviennent ne sont pas seulement les volumes théoriques engendrés par le piston; à ceux-ci viennent s'en ajouter d'autres qui résultent inévitablement de l'exécution matérielle de la machine et qui apportent une perturbation profonde dans l'accomplissement de la détente, et par conséquent dans la dépense de vapeur ou de charbon calculée d'après cette détente. Ces espaces sont connus de tous les mécaniciens; on les désigne sous le nom d'espaces nuisibles. Ils se composent de deux parties :

1° Du volume laissé libre à l'extrémité de la course du piston, entre cet organe et les fonds du cylindre; il est nécessaire pour parer aux difficultés du montage;

2° Du volume des conduits qui amènent la vapeur de la glace des tiroirs jusqu'à l'intérieur du cylindre.

Ils constituent un volume total qu'on cherche à réduire le plus pos-

sible, mais qui atteint facilement, dans les machines pourvues de tiroirs ordinaires, jusqu'à 5 p. o/o de la capacité engendrée par le piston, et même plus quand on n'y apporte pas le soin nécessaire.

L'intervention de ces espaces vient troubler profondément la détente, pour deux raisons : en premier lieu, la détente effective n'est plus représentée par le rapport du volume initial engendré par le piston pendant la course à pleine pression, au volume total, mais bien par le rapport de ces mêmes volumes, augmentés chacun du volume de l'espace mort; or, d'après les règles les plus élémentaires de l'arithmétique, ce nouveau rapport est toujours moindre que le premier; la détente *effective* est moindre que la détente *nominale*. Il résulte de là deux effets : 1° la détente est moins grande, par conséquent on recueille sur les pistons une plus grande quantité de travail; il semblerait qu'il n'y a pas là d'inconvénient; c'en est un cependant au point de vue de l'économie; car 2° cette quantité de travail est obtenue avec une détente moindre, et pour cette seule raison la dépense de vapeur est plus grande. En second lieu, on dépense sans en retirer aucun travail direct tout le volume de vapeur qui a rempli la capacité des espaces nuisibles; on perd le travail à pleine pression de ce volume de vapeur, et, par suite, la dépense par cheval en est augmentée d'autant.

Pour fixer les idées sur l'importance de l'influence perturbatrice des espaces morts, il est nécessaire de citer quelques nombres.

Je supposerai une machine dans laquelle la pression initiale de la vapeur soit de 5 kilogrammes, la contre-pression de 200 grammes. C'est une contre-pression bien forte, qui suppose un vide médiocre, mais cela répond assez bien aux conditions usuelles d'une machine en service courant, ainsi qu'aux conditions d'entretien ordinaires.

Dans une semblable machine sans espace mort, avec une détente nominale au rapport 2, la dépense de vapeur par cheval devrait être de 8 kilog. 36; à la détente 8, de 4 kilog. 89; à la détente 16, de 4 kilog. 38.

Mais faisons intervenir les espaces morts, et supposons d'abord un espace mort très réduit, qui soit seulement de 2 p. o/o du volume total engendré par le piston; les prévisions théoriques sont notablement modifiées; à la détente 2, la consommation de vapeur devient 8 kilog. 67; à la détente 8, 5 kilog. 32; à la détente 16, 4 kilog. 87; et l'espace mort de 2 p. o/o est cependant un espace mort très petit, que l'on ne réalise que difficilement.

Avec un espace mort de 5 p. o/o, celui des bonnes machines Farcot d'il y a une dizaine d'années, à la détente 2, la dépense de vapeur s'élève à 9 kilog. 13; à la détente 8, à 5 kilog. 92; à la détente 16, à 5 kil. 55.

L'échelle croissante des consommations avec la grandeur des espaces morts peut encore être représentée par l'abaissement des bénéfices que l'on se croirait en droit d'attendre des grandes détentes.

Avec un espace mort nul, en passant de la détente 2 à la détente 8, on devrait réaliser une économie de 40 p. o/o; en passant de la détente 8 à la détente 16, on devrait gagner 12 p. o/o.

Si l'espace mort est de 2 p. o/o, en passant de 2 à 8 on ne gagne plus que 38 p. o/o, en passant de 8 à 16 le bénéfice atteint à peine 8 p. o/o.

Le déficit est bien plus grand avec des espaces morts de 5 p. o/o; en passant de 2 à 8 on gagnera encore peut-être 35 p. o/o; mais en passant de 8 à 16 on gagne au plus 6 p. o/o.

Ces nombres suffisent pour faire comprendre à quel point des espaces morts, dont la grandeur relative ne paraît pas bien considérable, peuvent atténuer les économies de vapeur ou de combustible calculées d'après les détentes nominales.

Ici cependant il est nécessaire d'introduire une remarque à laquelle on doit attacher une grande importance; les dépenses de vapeur que je viens d'indiquer sont basées uniquement sur l'appréciation des quantités de vapeur qui manifestent leur présence à l'intérieur du cylindre par le travail qu'elles y produisent. Or, tous les mécaniciens savent que ces quantités de vapeur sont toujours moindres que celles qui sont sorties de la chaudière; qu'une fraction plus ou moins considérable de celles-ci se trouve absorbée par des condensations, qui se produisent, soit à l'intérieur des conduits, soit dans les enveloppes des cylindres, soit, et c'est là le point le plus important, à l'intérieur du cylindre lui-même, et que la quantité de vapeur ainsi absorbée constitue une perte absolue, qu'il faut ajouter à la consommation par cheval, déduite du calcul théorique.

L'importance de ces condensations de vapeur est difficile à apprécier; elle est très variable suivant le plus ou moins de détente qui est faite, suivant les précautions plus ou moins heureuses qui ont été prises pour prévenir les condensations intérieures dans le cylindre : mais la discussion des lois, encore peu établies, qui les régissent, mènerait trop loin; je supposerai que la quantité de vapeur condensée reste la même, quelle que soit l'étendue de la détente. C'est une approximation grossière qui servira cependant à apprécier jusqu'à un certain point cette partie de la question.

D'après un certain nombre d'expériences qui concordent, les pertes de vapeur de toute nature pour le régime de pression et de contre-pression que nous avons défini s'élèvent à environ 2 kilog. par cheval et par heure. Dans ces conditions, il est facile de voir ce que deviennent les bénéfices à attendre des détentes croissantes. Avec l'espace mort nul, en passant de la détente 2 à la détente 8, on ne gagnerait plus que 33 p. o/o; de 8 à 16, environ 9 p. o/o tout au plus.

Avec un espace mort égal à 2, la réduction en passant de la détente 2 à la détente 8 devient de 31 p. o/o; de 8 à 16, de 6.1 p. o/o.

Avec l'espace mort égal à 5, le bénéfice se réduit à 28 p. o/o quand on passe de 2 à 8, et à 4 p. o/o quand on passe de 8 à 16. Si l'on voulait aller au delà, tous les bénéfices seraient à peu près anéantis.

Les différents résultats que nous venons d'indiquer démontrent combien il importe de combattre de la manière la plus énergique les influences perturbatrices qui sont de nature à compromettre l'efficacité de la détente et, en particulier, l'influence des espaces morts.

Les moyens dont on dispose sont au nombre de deux : c'est de diminuer leur volume absolu, ou bien de faire disparaître la dépense de vapeur qu'ils occasionnent, au moins dans une limite importante.

Ce dernier moyen existe en effet, il est applicable à des machines pourvues de tiroirs ordinaires et n'entraîne aucune complication dans les mécanismes. Il consiste simplement à arrêter l'échappement de la vapeur avant la fin de la course rétrograde, de manière que la vapeur d'échappement emprisonnée sous le piston se trouve réduite à des volumes de plus en plus petits et soumise à des pressions croissantes, qui atteignent leur maximum lorsque le volume initial se trouve réduit à celui de l'espace mort lui-même.

De cette compression résultent encore deux effets : d'abord il en est un qui saute aux yeux, surtout quand on examine un diagramme relevé à l'indicateur ; pendant la période de compression il y a travail négatif, qui se traduit par une diminution du diagramme. Beaucoup de personnes, s'en tenant à ce premier aperçu, déclarent que la compression de vapeur est une cause de perte, et j'ai vu continuellement condamner comme défectueux des diagrammes de machines, parce qu'il y avait une compression trop grande. Ce jugement résulte d'une appréciation incomplète des faits ; si d'un côté il y a eu réduction de travail, de l'autre, l'espace mort, à la fin de la course, se trouve rempli de vapeur à une pression qui peut se rapprocher autant qu'on le voudra de la pression initiale de la vapeur. Si la pression finale dans l'espace mort était égale à la pression initiale, la dépense de vapeur occasionnée par cet espace mort serait nulle. Ce n'est pas à dire pour cela qu'il faille pousser la compression jusqu'à ce point ; mais plus la pression finale dans l'espace mort se rapprochera de la pression initiale, moins la dépense de vapeur nécessitée pour amener la pression de cet espace mort à la pression initiale sera considérable. Il est donc évident que, si la compression produit une certaine perte de travail, elle entraîne en même temps une réduction de dépense, et qu'en pondérant convenablement ces deux effets, on doit arriver à réaliser certains bénéfices.

La compression produit encore un autre effet avantageux : à mesure que la pression de la vapeur augmente, sa température s'élève et, par conséquent, à fin de course, toutes les surfaces métalliques des espaces morts sont ramenées à une température très voisine de celle de la vapeur

affluente, et les effets de condensation, si importants, qui se produisent surtout au début de l'admission de la vapeur, se trouvent ainsi combattus de la manière la plus efficace, indépendamment de tous les procédés employés par ailleurs pour réchauffer le cylindre.

Les compressions de vapeur sont employées par quelques mécaniciens, mais timidement, et je crois pouvoir affirmer qu'on réalisera des bénéfices très appréciables en marchant plus largement dans cette voie, et en faisant des compressions qu'on n'oserait pas admettre si l'on n'envisageait que les points de vue ordinaires.

On peut soumettre la question au calcul, et l'on trouve que l'étendue des compressions utiles varie avec la grandeur des espaces morts et avec l'étendue de la détente.

Dans les mêmes conditions de régime que nous posions tout à l'heure, avec un espace mort de 5 p. o/o du volume total, on peut utilement faire de la compression pendant 30 p. o/o de la course rétrograde pour une détente égale à 2; pendant 60 p. o/o de la course rétrograde pour une détente égale à 8.

Assurément il y a une certaine hardiesse à indiquer des compressions aussi étendues, tout à fait en dehors des usages ordinaires, mais je crois qu'il n'y a rien à redouter de ce côté, et j'ai d'ailleurs des exemples de compressions poussées très loin, qui ont donné de bons résultats. Avec un espace mort de 2 p. o/o les compressions utiles doivent être moindres; elles seraient de 15 p. o/o pour la détente 2 et de 28 p. o/o pour la détente 8.

On doit d'ailleurs accepter maintenant la compression avec moins d'incertitude que par le passé, car elle est entièrement d'accord avec les nouveaux principes donnés par la thermodynamique. Dans le cycle de Carnot, qui représente le fonctionnement d'une machine théoriquement parfaite, il doit être fait de la compression à l'échappement: il doit en être fait très largement. Dans la machine ordinaire, dans laquelle l'échappement continue jusqu'à la fin de la course, cette compression n'est pas faite : c'est une des causes pour lesquelles on ne pourra jamais retirer de la quantité de chaleur communiquée à la vapeur le travail qu'elle devrait fournir; en faisant de la compression, on se rapproche du cycle de Carnot, on n'est pas encore identiquement dans les conditions qu'il indique, mais on s'en rapproche davantage, on est dans la voie rationnelle et il ne peut y avoir qu'à gagner en la suivant résolument.

J'arrête ici cet aperçu, en quelque sorte rétrospectif, peut-être un peu long, mais il était indispensable pour établir les conditions dans lesquelles se trouvaient, il y a dix ans, nos meilleures machines, le côté faible qu'elles présentent et les moyens qu'on a pu employer pour y remédier.

Je considérerai d'abord la machine à cylindre unique. Il faut réduire au minimum la capacité de l'espace nuisible, obtenir une ouverture rapide du distributeur à l'admission et sa fermeture en quelque sorte instantanée; enfin réaliser l'indépendance des tiroirs d'admission et d'échappement, afin de pouvoir faire de la compression de vapeur dans les limites utiles. Ces trois conditions réunies assurent, au moins en grande partie, l'efficacité des grandes détentes. Les machines de cette espèce devront, en outre, être munies d'appareils permettant de faire varier la détente dans de larges limites, soit à la main, soit par l'action du modérateur à force centrifuge. Ce sont ces conditions générales qui ont été réalisées dans les machines Corliss ou à quatre distributeurs.

Pendant longtemps les mécanismes de transmission de mouvement aux distributeurs étaient réduits à trois types principaux : celui des machines Corliss primitives, qui a servi de point de départ à tous les autres; celui des machines Ingliss, qui a été employé surtout en Angleterre, et celui des machines Sulzer.

Ces différents mécanismes permettaient de faire varier l'introduction depuis zéro jusqu'à moitié de la course; ils donnaient ainsi, pour les variations de la détente, un champ qui devait paraître bien assez étendu, bien suffisant pour tous les besoins de la pratique. Cependant les constructeurs ont voulu faire plus; ils ont voulu combiner des mécanismes permettant de faire varier la détente depuis zéro jusqu'à une introduction pouvant atteindre les 8/10 de la course, et au delà. Il faut bien admettre que, s'ils ont abordé ce problème, c'était pour satisfaire aux demandes de l'industrie. Cependant il est difficile de comprendre comment on pourra faire varier utilement la puissance d'une machine entre des limites aussi étendues que celles qui correspondent à de pareilles détentes. Si l'on doit faire marcher pendant quelque temps à 8/10 d'introduction (c'est presque la pleine course) une machine dont le régime normal doit être la détente 8, 10, 12, 15, il y a un changement absolu dans son régime économique; on a acheté une machine qui doit peu dépenser à son régime normal, et qui deviendra une machine extrêmement dispendieuse quand on lui fera développer une puissance exagérée. Les machines ne sont pas faites pour subir d'aussi grandes différences de puissance; on peut les leur imposer, mais c'est aux dépens du régime économique, et si l'on a besoin d'un accroissement de puissance aussi considérable, c'est que la machine que l'on emploie a été faite primitivement trop faible, ou qu'elle l'est devenue par suite du développement des travaux de l'atelier; il faut alors s'empresser de lui adjoindre une machine auxiliaire, dont le prix d'achat sera bientôt couvert par les économies réalisées sur les dépenses de combustible.

Enfin le problème a reçu sa solution, et l'on en voit des spécimens va-

riés dans les galeries du Champ de Mars. Pour les obtenir, il a fallu faire des prodiges de mécanique; et l'on est confondu en songeant à l'étendue des recherches auxquelles on a dû se livrer pour vaincre les difficultés de cinématique que présente la création des appareils qui jouissent de propriétés plus étendues que les détentes Corliss, qui avaient déjà si vivement excité l'attention des mécaniciens lors de leur première apparition.

Quel est d'ailleurs le progrès que pouvaient réaliser les machines à quatre distributeurs sur les machines les plus parfaites d'il y a dix ans, c'est-à-dire sur les machines pourvues de tiroirs Farcot ou Meyer?

Avec la machine Farcot, on est parvenu, il y a déjà un grand nombre d'années, à obtenir des consommations de charbon qui ne dépassaient pas 800 grammes par cheval indiqué, et ces machines avaient des espaces morts de 5 p. o/o.

Dans les machines à quatre distributeurs, le point capital n'est pas le mode de transmission de mouvement à ces distributeurs, mais bien la réduction des espaces morts qui résulte de leur emploi bien entendu; avec ceux-ci on parvient à réduire l'espace mort total à 2 p. o/o du volume engendré par le piston; dans quelques machines même on est parvenu à le réduire à 1 p. o/o. Le progrès obtenu résulte donc directement de la moindre importance de l'espace mort; réduit à 2 p. o/o, on gagnera un peu plus de 10 p. o/o sur les machines Farcot, et au lieu d'avoir des consommations de 800 grammes de charbon par cheval, on pourra avoir d'une manière à peu près certaine des consommations de 700 grammes. Les effets obtenus seront d'ailleurs d'autant plus complets qu'il sera fait usage de compressions de vapeur, ainsi que le permet l'indépendance des distributeurs d'admission et d'échappement.

Abordons maintenant l'examen des propriétés des machines Compound.

D'abord, un mot d'explication sur cette désignation de machines Compound, empruntée depuis peu d'années à nos voisins de l'autre côté du détroit. Les machines dites Compound ne présentent en réalité aucun système nouveau. Elles sont basées sur le principe des machines de Woolf. Si elles diffèrent de ces dernières, ce n'est que par un agencement particulier des cylindres dans lesquels la vapeur agit successivement, et par des dispositions particulières des mécanismes, mais leur caractère commun est celui de la détente opérée dans deux ou un plus grand nombre de cylindres, appelée souvent détente par cascade.

Dans les anciennes machines de Woolf, à balancier, dont le type classique est bien connu, l'introduction de la vapeur était généralement faite à pleine course dans le petit cylindre et dans le grand. La détente était quelquefois commencée dans le petit cylindre, mais, même dans ce cas, il était de règle invariable que l'introduction de la vapeur dans le grand cy-

lindre fût faite à pleine course. Dans ces conditions et quelle que soit d'ailleurs l'introduction dans le premier cylindre, on démontre au moyen de calculs bien connus, dans lesquels on suppose que les espaces morts des deux cylindres sont nuls, et, de plus, qu'il n'y a aucune capacité interposée entre le tiroir du petit cylindre et celui du grand, que la somme des quantités de travail développées dans les deux cylindres est égale à la quantité de travail développée dans un cylindre unique. Par conséquent, la dépense de vapeur par cheval serait la même, soit que l'on fasse usage du système de Woolf, soit que l'on ait recours au système ordinaire.

En poussant l'approximation un peu plus loin, et en tenant compte de la capacité des espaces morts dans chacun des cylindres, mais en supposant encore que la capacité qui est interposée entre le tiroir du petit cylindre et celui du grand soit nulle, on reconnaît que l'influence perturbatrice de ces espaces morts est considérablement moindre que dans les machines à un seul cylindre, et que pour cette raison les dépenses réelles de vapeur par cheval se rapprocheront beaucoup plus de la dépense théorique.

Ainsi dans une machine de Woolf, dans laquelle on emploie le tiroir ordinaire, avec des espaces morts égaux à 5 p. o/o du volume engendré par le piston, pour chacun des cylindres, on trouve, pour une détente au rapport 10 :

Dans le cas d'introduction à pleine course au petit cylindre, que la dépense effective de vapeur sera augmentée de 1 p. o/o, relativement à la dépense calculée d'après la détente nominale.

Si la détente est commencée dans le petit cylindre, l'accroissement de dépense est un peu plus grand, il est de 4 p. o/o.

Si la détente était effectuée à la manière ordinaire, dans un cylindre unique, l'accroissement de dépense théorique serait de 9 p. o/o avec espace mort de 2 p. o/o, et de 22 p. o/o avec espace mort de 5 p. o/o.

Ces chiffres suffisent pour faire voir combien la machine de Woolf, dans son dispositif le plus simple, est avantageuse au point de vue de la réalisation efficace des grandes détentes, puisque, avec des espaces morts relativement grands, la dépense de vapeur est beaucoup plus rapprochée de la dépense théorique que dans les machines ordinaires à espaces morts déjà très réduits, que l'on n'obtient que très difficilement. Cette circonstance explique le grand succès des machines Woolf anciennes, alors qu'elles étaient mises en parallèle avec les machines très imparfaites employées à cette époque dans l'industrie.

Mais les dépenses de vapeur que je viens d'indiquer sont calculées en supposant que la vapeur qui s'échappe du petit cylindre trouve immédiatement une issue dans le grand cylindre, sans avoir à traverser aucune ca-

pacité interposée, ce qui ne peut jamais être réalisé. Il est bien évident, en effet, qu'il faut une conduite de vapeur partant de la lumière d'échappement du petit cylindre pour arriver à la boîte de distribution du grand. Quand cette capacité est appréciable, elle constitue une cause perturbatrice dont il faut tenir compte.

Le calcul permet encore d'indiquer la conséquence de l'intervention de cette capacité intermédiaire. Elle ne trouble pas l'étendue totale de la détente, mais elle occasionne une perte de travail et en même temps une répartition différente de l'effort moteur entre chacun des deux cylindres. Cette différence de répartition n'a pas une grande importance dans tous les appareils où les deux cylindres transmettent leurs efforts réunis à un même organe. Mais il n'en est pas de même de la perte de travail; il est facile de la calculer, et l'on trouve les résultats suivants :

Dans le cas de la détente totale 10, si la capacité intermédiaire est égale au dixième de volume du petit cylindre, la perte n'est pas bien grande. Elle est un peu plus de 2 p. o/o. Mais si cette capacité intermédiaire était égale au volume tout entier du petit cylindre, la perte serait de plus de 14 p. o/o. Ceci dans le cas d'introduction à pleine course dans le petit cylindre.

Supposons encore que la détente commence dans le petit cylindre et qu'elle soit au rapport 2 : avec une capacité intermédiaire de 0.1, la perte est de 1.67 p. o/o; avec une capacité intermédiaire de 1.00, elle est de 10.34 p. o/o.

Le cas de la capacité intermédiaire égale à 0.1 du petit cylindre ne présente rien d'exagéré dans les machines d'ancien modèle; la capacité égale au cylindre se rencontre dans les machines de nouveau modèle.

Toutes choses égales d'ailleurs, les pertes sont toujours moindres lorsque la détente commence dans le petit cylindre; mais, même dans ce cas, elles sont assez fortes pour compromettre les qualités économiques de la machine, car il est évident que les consommations calculées précédemment devraient être augmentées au prorata des pertes; et pour conserver à la machine de Woolf ses propriétés économiques, il importe d'aviser au moyen d'annuler ou au moins de combattre énergiquement l'effet de cette capacité intermédiaire.

Un moyen simple, applicable dans quelques cas particuliers, consiste à réduire autant que possible la capacité intermédiaire : c'est celui qui est employé pour les machines à connexion directe, dans lesquelles les deux cylindres placés côte à côte actionnent des manivelles à 180°. Dans ce cas, un même tiroir peut servir à alimenter les deux cylindres, et la capacité intermédiaire est tellement réduite que la perte qu'elle occasionne est à peu près négligeable. Mais lorsque la capacité ne peut être réduite, on parvient à la neutraliser par un autre procédé, qui consiste simplement

à modifier l'introduction au grand cylindre, en un mot à y faire de la détente. Ce cas se présente d'une manière bien caractérisée pour une variété de machines Compound qui reçoit actuellement de très nombreuses applications, principalement pour la navigation, et dans laquelle les deux cylindres sont placés à la suite l'un de l'autre, suivant un même axe. Avec cette disposition, il est arrivé, par la force des choses, que la conduite qui établit la communication entre l'échappement du petit cylindre et la boîte de distribution du grand reçoit nécessairement un assez grand développement, et c'est alors qu'il arrive fréquemment que son volume est égal à celui du petit cylindre lui-même. Dans ce cas, la perte de travail atteindrait l'importance que nous indiquions tout à l'heure et détruirait les propriétés économiques de la machine, ce à quoi il importe d'obvier.

On y parvient, comme nous le disions tout à l'heure, en faisant de la détente dans ce cylindre. Ceci ne présente d'ailleurs aucune difficulté, puisqu'il suffit d'employer un tiroir avec avance et recouvrement, convenablement étudié. Cette disposition a été suivie pour la première fois pour des machines de bateau, sur lesquelles, dans le but de simplifier le mécanisme, on avait réuni les tiroirs du grand et du petit cylindre par une tige commune, de même que leurs pistons étaient réunis par une même tige. La détente était commencée dans le petit cylindre; il y avait donc également une détente dans le grand, ce qui était en dérogation complète avec la théorie habituelle des machines de Woolf. Il semblait donc que cette disposition devait apporter un trouble profond dans le régime des machines et qu'il en résulterait des pertes de travail importantes. Bien au contraire, cette disposition, peut-être due au hasard, à l'intuition d'un mécanicien heureux, produisit des résultats économiques excellents, et les machines de cette espèce eurent un véritable succès.

Il est facile de prouver que l'une des causes principales de ce succès réside précisément dans l'admission partielle faite au grand cylindre et de déterminer, en outre, quelle est l'admission convenable dans chaque cas particulier.

À partir du moment où l'admission est supprimée au grand cylindre, la vapeur qui s'échappe du premier ne trouve plus d'écoulement; elle est comprimée pendant la marche rétrograde du piston, et la contre-pression va en augmentant jusqu'à la fin de la course. La répartition du travail entre les deux cylindres est fortement modifiée, mais cela est de peu d'importance; ce qu'il faut, c'est que la perte due à la présence de la capacité intermédiaire soit annulée; or, ce résultat est obtenu, ainsi qu'on le démontre facilement, lorsque l'introduction au grand cylindre est réglée de telle manière qu'à la fin de la course, la pression dans la capacité intermédiaire soit la même que celle qui règne dans le petit cylindre au moment

où commence l'échappement; on trouve alors que la somme des deux diagrammes est égale au diagramme d'une machine à cylindre unique dans laquelle la détente serait faite à la manière ordinaire et entre les mêmes limites.

En appliquant cette règle au cas de la détente 10, on trouve, pour une introduction à pleine pression dans le petit cylindre et une capacité intermédiaire égale à 0.1 du cylindre, que l'introduction dans le grand cylindre doit être de 0.55.

Pour une capacité intermédiaire égale à 1, il faut faire une très grande détente au grand cylindre; l'introduction est de 0.18.

Dans le cas d'une introduction de moitié course au petit cylindre, avec 0.1, on obtient 0.73, et avec 1, 0.33 pour les introductions au grand cylindre.

Pour les machines de cette espèce, il faut donc faire de la détente au grand cylindre, contrairement aux anciens usages adoptés, et il faut en faire largement, dans les proportions qui seront indiquées par les calculs.

Il y a, pour ce genre de machines, une remarque à faire qui n'est pas sans importance, c'est que, dans le cas où l'on fait varier la détente totale, en changeant l'introduction au premier cylindre, la détente qui a été déterminée au grand cylindre, dans le but d'annuler la perte de travail, à l'allure et à la détente normale, est encore celle qui convient pour annuler la perte aux autres allures et aux autres détentes totales. Par conséquent, il suffira d'avoir un distributeur à détente variable au premier cylindre et un distributeur fixe pour le second, et, dans tous les cas, les détentes effectives seront accomplies avec le même degré d'approximation. Grâce à cette disposition bien simple, on assurera aux machines de ce système le maximum de rendement économique, puisque l'accroissement théorique de dépense de vapeur sera réduit à celui qui résulte de la présence des espaces morts ordinaires, accroissement minime dans les machines du système de Woolf, ainsi que nous l'avons fait voir tout à l'heure: d'autant plus qu'il faut tenir compte des effets calorifiques résultant de la compression de la vapeur dans la capacité intermédiaire et qui combattront efficacement les condensations qui, sans cela, ne manqueraient pas de s'y produire.

Des machines conçues dans cet ordre d'idées ont été expérimentées, et les résultats qu'elles ont donnés ont complètement confirmé les indications théoriques que je viens d'exposer. Sans cela elles auraient pu être tenues en suspicion, car les praticiens ne savent que trop que continuellement les indications de la théorie abstraite ne sont pas confirmées par l'expérience. Ici ce n'est pas le cas, l'expérience a donné une entière confirmation à la théorie.

En présence des résultats économiques considérables qui furent constatés dès la mise en service de ces machines, les ingénieurs chargés de leur construction se sont d'abord déclarés satisfaits et ont continué à suivre les dispositions des machines ordinaires, avec leurs tiroirs à avance et recouvrement, et 5 p. 100 d'espaces morts, ce qui présente, il est vrai, l'avantage incontestable de conserver au mécanisme une plus grande simplicité. Mais maintenant on est en droit de devenir plus exigeant. On a remarqué que, si, avec des organes simples et des espaces morts de 5 p. 100, on obtenait de bons résultats économiques, on aurait certainement mieux encore en ayant recours aux cylindres à quatre distributeurs, et en réduisant en même temps les espaces morts à 2 p. 100. C'est ce qui a été fait, et l'on voit dans les galeries du Champ de Mars des machines à deux cylindres, placés bout à bout, dans lesquelles les tiroirs ordinaires ont été remplacés par les quatre distributeurs du système Corliss ou des systèmes analogues. Le premier cylindre est à détente variable. Le deuxième est à détente fixe, calculée de manière à annuler la perte provenant de la capacité intermédiaire. L'échappement du deuxième cylindre comporte une période de compression. Avec ce dispositif, on réunit les avantages inhérents au système Compound et ceux qui résultent de l'emploi des quatre distributeurs. On réalisera, relativement à la machine Corliss, un progrès analogue à celui que cette machine réalisait relativement aux machines Farcot, par exemple. Mais il ne faut pas s'attendre à ce que ce progrès se traduise par de grandes réductions de consommation de charbon; si ces réductions atteignent 2 à 3 p. 100, on devra s'estimer heureux, puisque l'on partirait d'un type déjà très perfectionné.

Les mécanismes de distribution nécessités par ce système seraient peut-être un peu trop délicats pour le service de la navigation; mais du moment qu'ils sont franchement acceptés pour les machines d'atelier à un seul cylindre, on ne verrait aucun motif pour ne pas les employer dans les mêmes conditions sur les machines à deux cylindres.

Il me reste à parler d'un troisième système de machines Compound, qui est devenu en quelque sorte le type des machines de navigation, qui commence à être très employé comme moteur d'atelier, et paraît appelé à rendre sous cette forme de très grands services.

Dans ce système, les deux cylindres, au lieu de transmettre leur action à une même manivelle, ou à deux manivelles calées à 180 degrés, ce qui revient à peu près au même, actionnent directement des manivelles distinctes faisant entre elles un angle de 90 degrés, conformément à la disposition usuelle des machines ordinaires, lorsqu'on veut obtenir une grande uniformité dans le mouvement de rotation, sans recourir à des

volants d'un poids considérable. Avec cette combinaison, la vapeur, à sa sortie du petit cylindre, ne peut plus se rendre directement dans le grand, ce qui entraîne la nécessité de la recueillir dans un réservoir intermédiaire, où elle est emmagasinée pour être employée ensuite à alimenter le grand cylindre, comme le ferait une chaudière à vapeur. Ce mode de fonctionnement diffère essentiellement de celui des machines de Woolf proprement dites; c'est le seul qui mériterait une désignation particulière, bien qu'il soit confondu avec les autres sous la désignation de machines Compound.

La création de cette variété de machines est relativement récente. Elle a été réalisée, il y a à peu près vingt ans, par notre éminent ingénieur M. Dupuy de Lôme, sous la forme des machines à trois cylindres, employées depuis lors et jusqu'à ce jour sur la presque totalité des navires de la marine militaire, et, à peu près à la même époque, par M. Benjamin Normand, qui construisit un bateau à vapeur à roues, naviguant sur la Seine et pourvu d'une machine à deux cylindres avec réservoir intermédiaire. Parmi les personnes qui ont pris une part considérable à la création de ces machines, nous devons encore citer M. John Elder, de Glascow, qui, par ses travaux incessants et ses recherches persistantes, est parvenu à créer la machine à deux cylindres qui est devenue le type préféré par la marine marchande.

Dans cette variété des machines Compound, il est toujours fait de la détente dans chacun des deux cylindres. C'est une condition indispensable de leur fonctionnement. Le réservoir intermédiaire doit recevoir une capacité suffisante pour que la pression n'y change pas d'une manière sensible pendant un demi-tour de la machine, c'est-à-dire pendant la période qui correspond à une émission de vapeur évacuée par le petit cylindre et une admission dans le grand. Disons tout de suite que ce résultat est obtenu en donnant au réservoir intermédiaire un volume égal à une fois et demie, ou deux fois au plus, celui du petit cylindre.

Dans ces conditions, il s'établit au réservoir intermédiaire une pression de régime qui dépend uniquement de la pression de vapeur dans le petit cylindre à la fin de sa course, et du rapport du volume de ce cylindre au volume d'introduction dans le grand.

Si le volume d'introduction au grand cylindre est plus grand que le volume total du petit cylindre, la pression au réservoir intermédiaire est moindre que la pression à la fin de la course dans le petit cylindre.

Si le volume d'introduction dans le grand cylindre est plus petit que le volume total du premier cylindre, la pression au réservoir intermédiaire est plus grande que la pression finale dans le petit cylindre.

Si les deux volumes sont égaux, la pression au réservoir intermédiaire est égale à la pression finale au petit cylindre.

Suivant la grandeur relative assignée au volume d'introduction du grand cylindre, on est donc maître de régler comme on veut la pression au réservoir intermédiaire. Celle-ci joue le rôle de contre-pression pour le petit cylindre, et de pression initiale pour le grand, et, par suite, cette pression étant connue, on est en état de calculer le travail développé dans l'un et l'autre cylindres. On trouve ainsi que le travail total maximum correspond au cas où l'introduction au grand cylindre est égale au volume total du petit, et que ce maximum théorique est égal au travail développé dans un cylindre unique. De plus, tout en satisfaisant à cette condition, on est maître de répartir comme on le veut le travail total entre les deux cylindres, et en particulier de le partager également entre ceux-ci, condition que l'on doit évidemment chercher à remplir lorsque les machines sont destinées à produire un mouvement de rotation.

On trouve facilement les introductions qu'il convient de faire dans l'un et dans l'autre cylindre. Ces introductions sont généralement grandes, et par conséquent on peut les obtenir avec des tiroirs ordinaires avec avance et recouvrements, conduits par des excentriques. De sorte qu'avec les appareils les plus simples, avec des espaces morts égaux à 5 p. 100 du volume total, on obtient les mêmes résultats économiques qu'avec les machines à cylindres placés bout à bout, pourvu toutefois que l'introduction dans le grand cylindre soit égale au volume total du petit cylindre. Cependant, pour des raisons secondaires, il est nécessaire de s'écarter un peu de ce mode de fonctionnement, qui aurait pour conséquence de réduire à zéro l'effort exercé à fin de course sur le petit piston.

Pour conserver à cet effort une valeur appréciable, il faut admettre une certaine chute de pression au réservoir intermédiaire, ce qui conduit, dans la pratique, à prendre pour volume d'introduction au grand cylindre celui qui est indiqué par le calcul, et pour le volume total du petit cylindre une quantité un peu moindre, de manière à conserver à la fin de la course une pression suffisante pour vaincre les résistances passives.

Avec des proportions ainsi établies, il résulte une perte de 1 à 2 p. o/o sur le travail total, perte par suite de laquelle les dépenses de vapeur calculées devront recevoir une augmentation correspondante.

En admettant cette petite perte de travail, on trouve que les machines Compound de cette espèce sont exactement sur le pied d'égalité, au point de vue des dépenses de vapeur et de charbon, avec les machines à cylindres bout à bout, lorsqu'on a annulé la perte de travail due à la capacité intermédiaire; mais qu'elles présentent sur celles-ci l'avantage d'actionner des manivelles calées à 90 degrés, et de fournir une plus grande uniformité de mouvements de rotation.

Pour obtenir cette uniformité avec les machines à cylindres placés bout à bout, il faudrait employer deux machines complètes, composées

chacune de ses deux cylindres, actionnant les deux manivelles à 90 degrés, par conséquent quatre cylindres au lieu de deux, un plus grand nombre d'organes, plus d'entretien et plus de chances d'avarie.

La machine avec réservoir intermédiaire présente en outre l'avantage de se prêter à un meilleur groupement des organes principaux, et de n'exiger que des distributeurs simples qui peuvent supporter les allures les plus rapides. Ces qualités importantes lui feront donner la préférence dans un grand nombre de cas.

Elles seront avantageusement employées comme moteurs d'usine, surtout lorsque l'uniformité du mouvement de rotation est nécessitée d'une manière impérieuse par la nature même du travail à accomplir.

Elles s'adaptent également très bien aux locomobiles d'une puissance supérieure à vingt chevaux, et l'on peut en voir plusieurs spécimens très intéressants dans les galeries du Champ de Mars. Elles permettent de produire les locomobiles à faible consommation, qui sont de jour en jour plus demandées par l'industrie.

Elles trouvent encore leur emploi dans les locomotives et permettent ainsi de faire usage de la détente, ce qui a toujours été impossible avec les mécanismes ordinaires.

Un premier spécimen de locomotive système Compound figure dans les galeries du Champ de Mars, et nos prévisions seraient bien trompées s'il n'était pas appelé à un véritable succès, puisqu'il inaugurerait, dans l'exploitation des chemins de fer, la machine économique, qui jusqu'à ce jour lui a fait complètement défaut.

Dans les machines Compound à réservoir intermédiaire, il faut faire de la détente variable, comme dans toutes les machines de quelque système que ce soit.

Rien de plus facile que de faire varier la détente totale; il suffit de changer l'introduction de la vapeur dans le petit cylindre.

En augmentant l'introduction, la détente deviendra moindre, et, au contraire, si on la diminue, la détente sera plus grande.

Matériellement, ce résultat s'obtiendra en adaptant au petit cylindre un tiroir Farcot ou Meyer donnant une détente variable à la main ou par le modérateur. C'est le dispositif adopté par beaucoup de constructeurs, et les résultats qu'ils obtiennent ainsi paraissent déjà très satisfaisants.

Cependant, lorsqu'on étudie la question de plus près, il est facile de reconnaître qu'en agissant de la sorte, l'égalité des diagrammes réalisés pour la détente qui correspond à l'allure normale n'existe plus pour les autres détentes, et qu'en même temps le minimum de perte de travail cesse d'être réalisé. Pour conserver les mêmes conditions, il faudrait, pour chaque détente particulière, pouvoir opérer comme pour la détente normale, c'est-

à-dire : déterminer le volume du premier cylindre, la détente à faire dans celui-ci et l'introduction au grand cylindre. Mais le volume du petit cylindre ayant été déterminé une première fois, il n'est plus possible de le modifier; la détente qui s'y accomplit n'est pas non plus arbitraire, et il ne reste plus que l'introduction au grand cylindre que l'on soit maître de modifier, de manière à rapprocher le diagramme de l'égalité, dût-on pour cela admettre une augmentation dans la perte de travail.

Ainsi, par exemple, dans une machine combinée pour satisfaire à l'égalité des diagrammes pour une détente totale 8, on devra faire une détente au rapport de 2.67 au petit cylindre et au rapport de 2 au grand cylindre.

Si l'on veut développer beaucoup la puissance de la machine, il faut faire moins de détente, une détente 5 par exemple; s'il n'est rien changé à l'admission dans le grand cylindre et que l'on augmente seulement l'admission dans le petit, la différence des diagrammes devient 42 p. o/o.

On peut rétablir l'égalité en portant la détente du grand cylindre à 1.39 au lieu de 2, mais il y a une perte de travail de 15 p. o/o.

Si l'on veut diminuer la puissance de la machine en portant la détente au rapport 12, tout en conservant la détente 2 au grand cylindre, la différence entre les diagrammes devient de 40 p. o/o. On rétablit l'égalité en portant au grand cylindre la détente à 2.9, mais il en résulte une perte de travail de 6 p. o/o.

Pour la détente totale 16, détente 2 au grand cylindre, la différence est de 62 p. o/o. En portant la détente à 2.9 au grand cylindre, la différence est réduite à 24 p. o/o. On ne peut pas approcher davantage de l'égalité, par la raison qu'elle ne pourrait être obtenue qu'en faisant développer du travail négatif dans le petit cylindre.

Ces exemples suffisent pour démontrer que, pour conserver à la machine à réservoir intermédiaire la propriété, qui lui est caractéristique, de transmettre des quantités égales de travail aux deux manivelles, lorsqu'on fait varier la détente totale, il faut faire varier la détente à la fois dans le cylindre d'introduction et dans le grand cylindre, cette dernière devant être en proportion déterminée de la détente faite dans le petit cylindre.

Si l'on fait varier la détente à la main, il sera facile d'établir une échelle de proportion, de manière à régler les détentes propres à maintenir l'égalité des diagrammes. C'est ce qui a lieu pour quelques-uns des appareils de navigation qui figurent à l'Exposition, mais c'est l'exception, et dans la très grande majorité des machines à réservoir intermédiaire, employées comme moteurs d'atelier, l'introduction au grand cylindre est fixe. Les constructeurs donnent pour raison que la régularité est bien assez grande, même avec une répartition un peu inégale des diagrammes, pour que le volant suffise à y porter remède.

Les machines Compound, avec espace mort à 5 p. o/o, présentent

l'avantage de conserver les dispositions usuelles des machines ordinaires, les mêmes organes, la même transmission de mouvement, et c'est là une des raisons de leur très grand succès. Elles paraissent appelées à rendre des services aussi grands à l'industrie manufacturière qu'à l'industrie maritime.

Cependant, si l'on veut les amener à leur dernier degré de perfectionnement, comme on l'a fait pour les machines Compound à cylindres bout à bout, on est conduit à leur appliquer les appareils à quatre distributeurs. C'est ce qui a été fait, en partie seulement, sur une des machines qui figurent à l'Exposition, et de la manière la plus complète dans une autre machine, où l'on remarque notamment un mécanisme mû par le modérateur à force centrifuge, qui fait varier la détente à la fois dans le petit cylindre et dans le grand, et dans la proportion convenable pour maintenir l'égalité des diagrammes.

En résumé, les machines Corliss, ou à quatre distributeurs, réalisent un notable progrès comparativement aux machines à tiroir ordinaire; elles assurent l'efficacité de la détente et, par suite, le fonctionnement économique.

Les machines Compound, avec ou sans réservoir intermédiaire, pourvues de tiroirs ordinaires, mais avec distribution méthodique calculée dans le but d'annuler les pertes de travail, sont au moins sur le pied d'égalité, au point de vue des consommations, avec les machines à quatre distributeurs, tout en conservant les mécanismes simples des machines ordinaires.

En les dotant de quatre distributeurs à chaque cylindre, elles deviendront plus économiques encore que les machines du genre Corliss, bien que l'on ne puisse s'attendre à réaliser relativement à ces dernières un bénéfice bien considérable.

Si l'on considère les différentes machines au point de vue de l'uniformité du mouvement de rotation, comme il conviendrait, par exemple, s'il s'agissait du choix d'un moteur de filature, on arrive aux conclusions suivantes.

Les machines à quatre distributeurs et à grande détente produisent des efforts très différents du commencement à la fin de la course; elles exigent, même en employant deux machines actionnant des manivelles à 90°, des volants très puissants.

Les machines Compound avec cylindres bout à bout donnent, à détente égale, une différence beaucoup moindre entre l'effort initial et l'effort final que les machines à cylindre unique. Si deux machines de cette espèce sont couplées au moyen de manivelles à 90°, on obtiendra une très grande uniformité de mouvement; le volant pourra être moindre.

Enfin la machine Compound à réservoir intermédiaire permet de conduire deux manivelles à 90° au moyen des deux cylindres qui la composent,

et les détentes employées dans chaque cylindre restent toujours modérées, même pour de très grandes détentes totales; ce qui assurera à très peu près même uniformité du mouvement de rotation qu'avec deux machines complètes à cylindres bout à bout. Elle est plus simple de construction et paraît à tous égards mériter la préférence.

Messieurs, j'arrive au terme de cette dissertation, trop longue sans doute, dans laquelle je me suis efforcé de tracer un tableau des perfectionnements apportés à la machine à vapeur depuis ces dix dernières années, tableau bien imparfait, mais qui méritera peut-être votre indulgence en considération de la grandeur de l'œuvre qu'il aurait dû représenter.

M. LE PRÉSIDENT. — Messieurs, permettez-moi, en votre nom, de remercier M. de Fréminville de la très intéressante communication qu'il vient de vous faire. Il vous a prouvé, par la clarté de ses explications, par la lucidité des principes qu'il a indiqués, combien il était important de ne jamais perdre de vue, dans les applications de la physique et de la mécanique, que l'on doit faire marcher de front les principes de l'une avec ceux de l'autre science; combien il était indispensable aussi de joindre toujours l'observation des moindres détails au respect que l'on doit porter aux principes de la science.

Ce que M. de Fréminville ne vous a pas dit, c'est qu'une grande partie des progrès qui ont été réalisés dans les machines marines et dans les dispositions qu'il vous a exposées lui sont dus. (Applaudissements.)

J'ajoute que c'est avec raison que l'Académie des sciences de Paris lui a décerné le prix de mécanique, et vous vous associerez certainement au suffrage de notre Académie des sciences. (Double salve d'applaudissements.)

La séance est levée à 3 heures 20 minutes.

PALAIS DU TROCADÉRO. — 14 AOÛT 1878.

CONFÉRENCE

SUR

LES MOTEURS À GAZ À L'EXPOSITION DE 1878,

PAR M. ARMENGAUD JEUNE,

INGÉNIEUR CIVIL, ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE.

BUREAU DE LA CONFÉRENCE.

Président :

M. Tresca, membre de l'Institut.

Assesseurs :

MM. Armengaud aîné, ingénieur civil.
Brull, ingénieur civil.
Carnot, ingénieur des mines, professeur à l'École des mines.
Cousté, ancien ingénieur des manufactures de l'État.
Orsat, manufacturier.
Pollok, délégué du gouvernement des États-Unis pour la revision des tarifs douaniers.
Thirion, ingénieur, secrétaire du Comité central des Congrès et Conférences.

PRÉAMBULE.

L'attention de la plupart des personnes qui ont bien voulu venir m'écouter a sans doute été attirée, à l'Exposition, par la vue de certaines machines qui, par l'aspect de leur structure et de leurs mouvements, rappellent les machines à vapeur. Mais si vous vous approchez de ces machines, vous reconnaissez que cette similitude est toute apparente, vous constatez que leur marche est accompagnée d'une série de petites détonations et, en les regardant de plus près, vous remarquez sur le côté un appendice percé

d'une ouverture à travers laquelle brille une flamme qui semble donner la vie aux organes de ces machines. Ces machines sont des moteurs à gaz. C'est en effet le gaz, le même qui sert à nous éclairer aujourd'hui, et non pas la vapeur, qui y engendre la force motrice.

Dans cette conférence, je me propose de vous présenter quelques explications sur la disposition et le fonctionnement de ces moteurs, de comparer entre eux les divers systèmes qui figurent au Champ-de-Mars, et de vous faire entrevoir l'avenir qui peut être réservé à ces machines, si les inventeurs et les constructeurs qui s'en occupent continuent de marcher dans la voie du progrès attesté par l'Exposition.

Messieurs, le programme que je viens de vous tracer peut paraître, au premier abord, dénué de l'intérêt capable de captiver l'attention d'un auditoire non exclusivement composé d'ingénieurs; mais je m'efforcerai d'atténuer cette aridité, en réduisant le plus possible le côté technique et, sans sortir du cadre de mon sujet, en traitant la question à un point de vue plus général, et partant, je l'espère, plus intéressant pour cette réunion.

L'accomplissement de cette tâche me sera facilité par cette circonstance très heureuse, que, dans le fonctionnement d'un moteur à gaz, on trouve résumées les plus belles applications de la science.

DÉFINITION DU MOTEUR À GAZ.

Définissons d'abord le moteur à gaz. Cet appareil emprunte à la machine à vapeur son organisme essentiel, le cylindre qui reçoit le fluide gazeux, le piston qui transmet par la bielle et la manivelle la pression de ce fluide à l'arbre moteur, enfin le volant qui régularise le mouvement et la poulie qui le transmet par une courroie à l'outil qu'il s'agit de faire travailler.

J'ai dit le fluide gazeux et non le gaz, parce que c'est un mélange d'air et de gaz qui alimente le moteur. Ce mélange est établi dans les proportions qui le rendent capable de faire explosion, lorsqu'il est amené au contact d'un corps en ignition, par exemple de la petite flamme que j'ai mentionnée tout à l'heure. Le gaz brûle et les produits de la combustion violemment dilatés chassent le piston et développent ainsi la force motrice.

Permettez-moi de m'arrêter un instant sur le phénomène de la combustion, qui joue, vous le voyez, un rôle important dans le fonctionnement du moteur à gaz, et qui comporte l'examen d'une des questions les plus importantes de la chimie. Il n'y a pas longtemps, Messieurs, que l'on peut se rendre compte de ce qui se passe quand un corps brûle. Bien que le feu soit un des quatre éléments de la science antique, bien qu'il soit à la

fois le plus utile auxiliaire et le plus dangereux ennemi que la nature ait donné à l'homme, un siècle à peine nous sépare de la remarquable découverte de Lavoisier, qui le premier analysa et expliqua le phénomène de la combustion.

Il en a été de même de bien d'autres faits, dont l'explication nous paraît aujourd'hui si facile à comprendre.

DÉCOUVERTES SUR LA NATURE PHYSIQUE DE L'AIR.

Ainsi, il faut remonter à deux cents ans pour trouver la preuve que l'air existe comme matière, et que c'est un corps pesant. On n'arrive pas du premier coup à cette simple constatation. Il faut d'abord que Galilée, en 1630, observe que l'eau ne peut s'élever, par une pompe, au delà de 10 mètres. Il en conclut l'existence de la pression atmosphérique, que Torricelli, en 1643, apprécie par le poids d'une colonne de mercure de 76 centimètres équivalente à la colonne d'eau de 10 mètres. Il invente ainsi le baromètre. Blaise Pascal, en 1647, utilise ce nouvel instrument pour mesurer les variations de la pression de l'atmosphère en montant au sommet de la tour Saint-Jacques. La statue de Pascal, vous le savez, honore la base de ce vieux monument de Paris.

Les variations de la pression atmosphérique suivant l'altitude furent observées l'année suivante sur de plus grandes hauteurs, par Périer, beau-frère de Pascal, dans l'ascension du Puy-de-Dôme.

Mais jusque-là on a seulement une vague conception de la pesanteur de l'air, et, pour la vérifier, il faut attendre jusqu'à l'année 1657, où Boyle, en se servant de la pompe pneumatique d'Otto de Guericke, arrive à faire le vide dans une bouteille en verre, et compare son poids sur une balance avec celui d'une autre bouteille restée pleine d'air.

Voilà donc l'existence physique de l'air constatée, mais la composition chimique reste encore ignorée jusqu'à l'année 1775, dans laquelle, presque simultanément, Priestley en Angleterre, Scheele en Suède et Lavoisier en France découvrent l'oxygène. L'autre élément de l'air, l'azote, est trouvé quelque temps après. Ces deux gaz composent l'air qui nous entoure dans la proportion d'une partie d'oxygène contre quatre parties d'azote.

Lavoisier démontre que, de ces deux éléments, un seul joue un rôle dans la combustion.

Quand un corps brûle, nous savons maintenant que c'est parce qu'il se combine avec l'oxygène de l'air; si c'est du charbon, il se forme de l'acide carbonique.

En résumé, la combustion n'est pas autre chose qu'une combinaison chimique. Cette combinaison, qui a pour effet de détruire un travail moléculaire, engendre de la chaleur, et celle-ci, étant concentrée sur un

point, y développe un échauffement qui va jusqu'à l'incandescence et produit la lumière. Le plus souvent, en effet, la combustion se traduit par des effets lumineux.

HISTORIQUE DU GAZ TIRÉ DE LA HOUILLE.

L'aperçu historique que je viens d'esquisser au sujet de l'air, il ne serait peut-être pas inutile de le faire à l'égard du gaz, qui constitue l'autre partie du fluide actif du moteur à gaz. Ceux d'entre vous qui ont suivi la conférence si intéressante de M. Arson, l'ingénieur éminent de la Compagnie parisienne du gaz, ont entendu un récit complet des progrès qui ont été apportés successivement dans l'industrie du gaz.

Je me bornerai à exposer les faits principaux.

Tout le monde sait que le gaz est un produit de la distillation de la houille; sa composition est assez complexe : il renferme de l'hydrogène pur, de l'oxyde de carbone et surtout de l'hydrogène bicarboné, et de l'hydrogène protocarboné, composés d'hydrogène et de carbone. L'hydrogène est, avec l'oxygène, un des éléments de la composition de l'eau, découverte par Cavendish en 1781.

On peut tirer les éléments d'un gaz combustible d'une infinité de corps. Les sources naturelles de pétrole, qui sont connues depuis longtemps en Perse et dans l'Inde, et que l'on a trouvées en abondance en Amérique, laissent dégager des vapeurs qui brûlent au contact de l'air. En remontant aux temps les plus reculés, on trouve signalées dans les récits persans ces effluves gazeuses qui s'élevaient enflammées de véritables lacs, et provoquaient l'admiration ou l'effroi chez les populations. Cette forme du feu avait ses prêtres et ses adorateurs.

Ce n'est qu'à une époque peu éloignée de la nôtre qu'apparaissent les premières indications relatives à l'existence d'un gaz dans la houille.

En 1659, Thomas Schirley, en visitant un puits de Lancashire, avait remarqué qu'il s'en dégageait des vapeurs pouvant s'enflammer au contact d'une chandelle allumée. Quelques années après, en 1664, le docteur Clayton observa un fait semblable à la surface d'une mine de houille. Le premier il eut l'idée de soumettre le charbon de cette mine à la distillation; il reconnut ainsi que la houille se décomposait par la chaleur et fournissait une substance liquide noirâtre qui n'est autre que le goudron, et un gaz qu'il ne put parvenir à condenser; il appela ce gaz esprit de houille. Vous savez que c'est du nom d'esprit que les alchimistes désignaient alors toutes les vapeurs ou tous les gaz extraits par la chaleur d'un corps liquide ou solide, esprit de vin, esprit de bois, etc.

Jusqu'à cette époque on n'était en possession que de faits isolés; c'est à un Français, Philippe Lebon, que revient l'honneur d'avoir généralisé la

question et d'avoir posé les principes de la distillation du bois et de la houille, en vue d'en tirer un gaz propre à l'éclairage.

En 1799, il inventa la thermolampe, qui est le premier en date des appareils d'éclairage au gaz.

Il n'eut pas le temps, hélas! de tirer parti de ses travaux ni même de les compléter, car il mourut de mort violente, en 1804, assassiné par des mains inconnues, aux Champs-Élysées, à Paris, où il était venu pour assister au sacre de l'empereur.

La thermolampe de Lebon fut reprise par Windsor, qui l'exploita de 1812 à 1815. Mis en rapport avec Murdoch et Clegg, qui venaient de trouver les moyens d'épurer le gaz, il introduisit ce mode d'éclairage à Paris, en 1817.

La première application en fut faite par Pauwels au passage des Panoramas. Plusieurs compagnies se formèrent ensuite dans la capitale, et c'est de leur fusion, qui a eu lieu en 1855, qu'est sortie la Compagnie parisienne.

Comme vous le voyez par l'enchaînement laborieux des découvertes relatives à l'air et au gaz, la nature résiste à livrer ses secrets, et il faut le concours de beaucoup d'hommes de génie pour les lui arracher.

ANALYSE DU PHÉNOMÈNE DE LA COMBUSTION DU GAZ.

Maintenant que j'ai donné en quelque sorte la physionomie des deux parties constitutives du mélange détonant, je vais pouvoir entrer plus avant dans l'explication de la combustion du gaz proprement dit. Brûler le gaz, c'est combiner ses éléments avec l'oxygène, c'est-à-dire transformer le carbone en acide carbonique et l'hydrogène en eau. Cette transformation n'est complète qu'à la condition de fournir au gaz la quantité d'oxygène nécessaire, c'est-à-dire de lui adjoindre sept fois son volume d'air.

Or, cette combustion peut s'opérer de deux façons, à l'air libre ou dans un espace fermé.

C'est dans le premier cas que se trouvent les becs de gaz ou les brûleurs des foyers métallurgiques. Le gaz et l'air arrivent séparément, et par petites quantités à la fois, au point où ils doivent se combiner, l'inflammation a lieu successivement, sans occasionner aucun bruit sensible.

Au contraire, si les deux éléments sont mélangés à l'avance, et si ce mélange est renfermé dans un espace clos, alors l'inflammation se porte sur toute la masse à la fois, et détermine une violente rupture de l'enveloppe, accompagnée d'une forte détonation.

Tel est le cas des explosions auxquelles donne lieu le gaz d'éclairage, quand par mégarde on a laissé un bec ouvert dans une salle fermée. Le gaz, plus léger que l'air, se répand dans cet espace qui lui est offert et forme avec l'air un mélange qui peut détoner au contact de la flamme

d'une bougie, dès qu'il a atteint la proportion de 1 partie de gaz pour 20 parties d'air.

La flamme n'est pas nécessaire pour allumer un mélange détonant, on peut employer l'étincelle électrique. Mais il importe toutefois de déterminer en un point un échauffement très intense. C'est pourquoi on ne peut allumer le gaz avec une allumette dont la flamme s'est éteinte, en laissant même une partie incandescente.

Les effets de l'explosion du gaz s'expliquent, comme ceux de la poudre, par l'accroissement énorme de volume que les gaz tendent à prendre instantanément au moment de l'inflammation, ce qui a pour conséquence d'augmenter subitement la pression que les gaz exercent sur les parois.

Dans le cas du mélange gazeux par excellence, c'est-à-dire composé de 7 parties d'air pour une de gaz, la combustion développe une quantité de chaleur qui a été mesurée, et qui est de 10,180 calories par kilogramme, ou de 6,000 calories par mètre cube de gaz employé. C'est cette chaleur qui se communique immédiatement aux produits gazeux de la combustion, et élève leur température à près de 2,700 degrés. Or on sait que tout gaz se dilate par la chaleur, et Gay-Lussac a démontré que cette augmentation de volume se produisait proportionnellement à la température multipliée par un coefficient, dit de dilatation, qui est à peu près le même pour tous les gaz, et que lui et Regnault ont évalué à $\frac{1}{273}$. Un échauffement à une température de 273 degrés doublera donc le volume du gaz, et celui de 2,700 degrés le portera à 10 fois le volume primitif.

TENSION PRODUITE PAR L'EXPLOSION DANS LE CYLINDRE MOTEUR À GAZ.

Lorsque l'on introduit dans le cylindre du moteur à gaz, et à la pression de l'atmosphère, un mélange moyen composé de 12 parties d'air pour une de gaz, la température, au moment de l'explosion, n'atteint plus que 1,400 degrés environ; la tension s'élève seulement à 6 atmosphères. C'est donc comme si l'on avait admis dans le cylindre un fluide à une pression initiale de 6 atmosphères. De même que la vapeur, la masse gazeuse, après l'explosion, se détend en poussant le piston. Telle est la cause du travail développé dans le moteur à gaz.

PARALLÈLE ENTRE LES MOTEURS À GAZ ET LES MOTEURS À VAPEUR.

Comme on le voit, les moteurs à gaz ont beaucoup de points de rapprochement avec les autres moteurs à vapeur, à air chaud, etc. Dans les uns comme dans les autres, c'est l'explosion d'un fluide gazeux qui est la cause du mouvement et du travail mécanique engendré. Quelle que soit la nature du fluide, c'est sa force élastique qui est employée pour

déplacer un piston lié à la résistance à vaincre. Ce fluide n'est, en effet, qu'un agent intermédiaire qui emporte de la chaleur avec lui, mais qui en perd pendant le transport une certaine quantité. C'est cette quantité de chaleur disparue qui, d'après le principe fondamental de la nouvelle théorie mécanique de la chaleur, se convertit en travail extérieur, en force motrice. Cette assimilation du mouvement et de la chaleur est une des plus belles conceptions de la science moderne.

Il ressort de là que, si l'on veut comparer dans leur principe dynamique les divers genres de moteurs que nous connaissons, une des différences essentielles réside dans la manière dont la chaleur est communiquée au corps intermédiaire.

Dans les machines à vapeur, la chaleur est tenue d'opérer la transformation préalable de l'eau en vapeur, puis d'augmenter la tension de cette vapeur. Cette vaporisation s'opère en dehors du cylindre, c'est-à-dire dans une chaudière à part, et assez longtemps avant l'action du fluide sur le piston. Pour les moteurs à air, l'échauffement qui dilate l'air est produit dans un foyer spécial également indépendant du cylindre.

Tout autre est cette communication de la chaleur dans les moteurs à gaz. Vous venez de voir, en effet, qu'ici la chaleur est développée dans l'intérieur même du cylindre et au sein de la masse gazeuse qui doit fournir le fluide moteur. Bien plus, elle n'est produite qu'au moment où ce fluide doit entrer en action. Il n'y a donc pas d'emmagasinement de chaleur, pas de transport de celle-ci, par conséquent aucune déperdition résultant de ces deux états de la chaleur.

On comprend les avantages qui découlent de ce mode de production et d'utilisation immédiate de la chaleur. Tandis que la machine à vapeur, pour être mise en marche, exige un temps considérable, près d'une heure, pour l'allumage du foyer et la vaporisation de l'eau dans la chaudière, avec le moteur à gaz, il suffit de tourner un robinet, qui ouvre l'accès du gaz, qui le ferme dès que l'on veut mettre la machine au repos.

Le moteur à gaz ne dépense que quand il travaille. Telle est la raison de la préférence incontestable que l'on doit accorder à ces machines dans les opérations industrielles, où un travail intermittent, comme cela arrive, par exemple, dans les imprimeries, ne saurait s'accommoder de la mise en train longue et dispendieuse d'une machine à vapeur.

IL EST DIFFICILE DE RÉALISER L'EMPLOI DU GAZ MÉLANGÉ COMME SOURCE DE FORCE MOTRICE.

Mais autant est simple la conception de l'emploi du mélange détonant comme source de force motrice, autant sont complexes les conditions de sa réalisation pratique. En effet, la chaleur développée par l'inflammation

du mélange, au moyen d'un bec de gaz ou d'une étincelle électrique dans l'ancienne machine Lenoir, se transmet trop vite à l'air en excès dans le mélange et aux produits de la combustion, de telle sorte que ce n'est pas une expansion graduelle que l'on obtient comme avec la vapeur ou l'air chaud, mais bien une explosion soudaine dont on ne peut qu'atténuer la violence par l'augmentation d'un matelas d'air. De là, des effets brusques, peu compatibles avec l'allure régulière que doit avoir une machine.

D'autre part, la chaleur tend à s'échapper de la masse aussi rapidement qu'elle y avait pris naissance et elle passe en grande partie dans les parois : il en résulte un échauffement du cylindre, difficile à éviter, même avec les enveloppes à circulation d'eau.

Ainsi, la chaleur produite par l'explosion du mélange dans le moteur à gaz a deux manières de disparaître : lorsqu'elle échauffe le cylindre en rayonnant vers les corps environnants, elle est perdue pour la force motrice; si elle se maintient, au contraire, dans la masse gazeuse, elle en produit l'expansion, et peut s'y dépenser en créant du travail. De ces deux tendances, l'une nuisible, l'autre utile, il faut combattre la première et développer la seconde. Pour retenir la chaleur dans la masse gazeuse, il faut la faire travailler le plus vite possible dans le cylindre; de là cette conclusion que les moteurs à gaz doivent être des machines à grande vitesse.

Une autre déperdition qu'il faut éviter est celle qui résulte de la chaleur que les produits de la combustion détiennent encore à leur sortie du cylindre, et emportent en pure perte dans l'air où la conduit le tuyau d'échappement.

Enfin, avant de songer à bien utiliser la chaleur pour créer la force expansive, la première préoccupation à avoir est d'engendrer toute la chaleur qu'est capable de développer le gaz combustible. Ce but n'est atteint que si l'on réalise la combustion parfaite du gaz, résultat qui est lié au mode d'inflammation du mélange.

Telles sont les conditions auxquelles en principe doit satisfaire le genre de moteur considéré, pour fournir un bon rendement du gaz en force motrice. Nous examinerons tout à l'heure comment ces conditions se trouvent remplies dans les nouveaux moteurs à gaz qui figurent à l'Exposition.

Avant d'aborder cet examen, je crois utile de jeter un coup d'œil rétrospectif sur les tentatives antérieures les plus marquées dont cette question a été l'objet.

HISTORIQUE DU MOTEUR À GAZ.

Comme pour toutes les grandes inventions, celle de la machine à vapeur par exemple, plusieurs pays se disputent la gloire de compter le créateur du premier moteur à gaz.

Un historique très complet, et qui a le mérite d'être impartial, a été donné de cette invention par M. H. Tresca, l'éminent savant doublé de l'ingénieur qui a bien voulu me faire l'honneur de présider cette séance. J'ai puisé dans cette notice, ainsi que dans celle de M. Gaudry, une partie des indications qui vont suivre.

Je n'ai pas l'intention de vous développer l'historique complet de cette découverte. Il me suffira d'en signaler les faits les plus saillants.

L'application de la poudre à feu a précédé celle du gaz, comme celle de la vapeur. Avant de songer à l'emploi de la vapeur, Papin commença par construire une machine à poudre à canon en mettant à profit les idées déjà émises sur cette question par Huygens en 1678 et par Hautefeuille en 1680. Dans la machine que décrit Papin en 1688, et qui comporte un piston et une soupape, il ne cherche pas à utiliser d'une manière directe l'expansion des gaz, mais seulement le vide qui est la suite inévitable de cette expansion. C'est sur le même principe qu'il construit plus tard sa première machine à vapeur.

John Barber en 1791 semble le premier qui se soit proposé la production de la puissance motrice par l'inflammation de l'hydrogène ou autre gaz inflammable. Mais sa machine fonctionne, sans l'action d'un piston, par la vitesse du jet continu de feu qui s'échappe d'un vase où se produit l'explosion.

Viennent ensuite les systèmes de Thomas Mead et Robert Street en 1794, qui emploient, l'un les gaz provenant de la combustion d'un corps sur un foyer, l'autre l'huile de pétrole, de térébenthine ou autre liquide volatil, qu'il fait tomber sur le fond d'un cylindre.

De même que pour l'invention du gaz, c'est à Philippe Lebon que doit être attribuée la gloire d'avoir posé les principes de la construction et du fonctionnement de la machine à gaz.

Ce qu'il y a de plus remarquable dans la machine que décrit Lebon dans son brevet de 1799, c'est qu'il emploie deux pompes pour refouler l'air et le gaz inflammable dans le cylindre, ce qui implique l'idée d'avoir le mélange à un certain état de compression avant l'explosion, idée qui est la base du perfectionnement le plus saillant que nous rencontrerons tout à l'heure dans les moteurs de l'Exposition; Lebon prévoit aussi l'inflammation du mélange par l'électricité, méthode adoptée dans la machine Lenoir.

Pour ne pas abuser de votre attention, je citerai, sans m'y arrêter, les essais de Rivaz en 1807, de Samuel Brown en 1823, de Talbot en 1840. Le brevet pris la même année par MM. Demiohelis et Monnier signale pour la première fois l'emploi du gaz courant. Jusqu'alors le gaz employé était produit dans un appareil dépendant de la machine. Dans certains brevets, on trouve aussi indiqués à la place du gaz de houille, la vapeur

inflammable de pétrole ou autre liquide volatil. D'autres inventeurs proposent l'emploi de l'air carburé par son passage à travers un hydrocarbure, benzine, essence de térébenthine, pétrole ou autre.

En passant sous silence les noms de beaucoup d'autres chercheurs, je citerai ceux de Degrand et Hugon en 1858 et celui de Lenoir en 1859. À MM. Hugon et Lenoir revient incontestablement l'honneur d'avoir mis au jour les premières machines à gaz qui aient fonctionné industriellement. Les systèmes Lenoir et Hugon étaient connus et jouissaient de tout leur éclat en 1867. Plusieurs spécimens de la machine Hugon figurent à l'Exposition actuelle dans la galerie des machines françaises. Je n'aurai donc pas à décrire en détail les dispositions ingénieuses de ces machines. Il me suffira de rappeler que ces systèmes utilisent directement l'action de l'expansion; la machine est à double effet, le piston à chaque coup aspire d'un côté le mélange qui s'enflamme au milieu de la course et refoule de l'autre côté les produits de l'explosion.

Les différences essentielles entre les deux systèmes résident dans la distribution et surtout dans le mode d'inflammation. Cette inflammation a lieu chez Hugon par la flamme d'un bec de gaz, et dans le système Lenoir par une étincelle électrique provenant d'une bobine d'induction de Rumhkorff alimentée par une pile de Bunsen.

La machine Hugon se distingue par l'adjonction de poches ou soufflets destinés à doser les quantités d'air et de gaz à introduire dans le cylindre. Mais il ne paraît pas que ce dosage précis ait conduit à une meilleure utilisation du gaz que dans la machine Lenoir. Le chiffre de la consommation du gaz dans les deux systèmes en effet a toujours été supérieur à 2 mètres cubes et demi.

À la suite de ces systèmes est venu le moteur à pression atmosphérique de MM. Otto et Langen de Cologne. Tandis que les machines Hugon et Lenoir sont horizontales, celle d'Otto et Langen affecte la forme verticale. Le principe de son action est aussi assez différent, en ce sens que ce n'est qu'indirectement qu'elle utilise la force de l'expansion.

En effet, le piston n'est mis en relation que d'une manière intermittente avec l'arbre moteur; sa tige est une crémaillère qui engrène à la descente seulement avec un pignon relié audit arbre par un embrayage à friction.

Dans sa course ascensionnelle, le piston entièrement libre est lancé à la manière d'un projectile dans une arme à feu, par la force explosive du mélange introduit à la base du cylindre. La masse gazeuse se détend et alors qu'elle arrive à la pression atmosphérique, le piston continue sa course en vertu de sa vitesse acquise. Il s'arrête seulement lorsqu'il est parvenu à une hauteur telle, que le travail résistant de la pression atmosphérique et celui de son poids aient absorbé sa force vive. Le refroidissement inté-

rieur a condensé la vapeur d'eau dans le mélange et contracté les gaz; il en résulte une raréfaction ou vide partiel sous le piston, et celui-ci descend poussé par la pression atmosphérique, à laquelle s'ajoute son propre poids.

Dans ce mouvement descensionnel, le piston est lié solidairement à l'arbre moteur, et lui transmet ainsi la force sous l'action de laquelle il se meut de haut en bas.

Cette manière d'employer indirectement l'explosion du gaz a donné un excellent résultat au point de vue de la diminution de la dépense du gaz, qui s'est abaissée à 1 mètre cube par force de cheval et par heure, au lieu de 2 mètres 700 litres qu'elle était dans les systèmes Hugon et Lenoir. Mais cet avantage est détruit par le bruit insupportable que font les machines Otto et Langen et qui a été la cause principale de leur abandon. L'étude théorique de ce système a été faite par l'ingénieur italien Claude Segré, et M. Schmitz, l'habile ingénieur de la Compagnie parisienne du gaz, en a analysé d'une manière très complète les conditions du fonctionnement pratique.

De l'ensemble des faits que révèle l'examen de cette série presque innombrable de tentatives se dégage cette remarque importante : c'est que toutes les idées rationnelles sur la manière d'employer les mélanges détonants pour engendrer une force motrice se réduisent à deux, savoir :

Ou la force de l'explosion est appliquée directement pour pousser un piston lié d'une manière constante à la résistance à vaincre; c'est le principe des systèmes dont le moteur Hugon ou celui de Lenoir est le type;

Ou bien l'explosion agissant sur un piston libre sert à créer derrière celui-ci une raréfaction ou vide partiel, en vertu duquel la pression atmosphérique agit au retour pour développer le travail effectif; c'est le principe de la machine Otto et Langen.

Quelquefois les deux principes auxquels je viens de ramener tous les genres de machines à gaz ont été combinés dans une même machine; c'est le cas de la machine de Gilles, dont un spécimen figure dans la section anglaise. On peut donc ranger dans trois classes les nombreuses variétés de machines à gaz.

C'est à la première qu'appartiennent les moteurs perfectionnés que nous offre l'Exposition et dont je vais maintenant vous entretenir :

Ces systèmes sont les suivants :

1° Le moteur de M. Otto, de Cologne, construit en France par la Compagnie parisienne du gaz, et par MM. Périn, Panhard et Cie, constructeurs;

2° La machine exposée par M. Louis Simon, de Nottingham;

Et 3° le moteur de M. de Bisschop, construit par MM. Mignon et Rouart.

Dans le moteur Hugon, dont, je l'ai dit, plusieurs spécimens figurent à l'Exposition, comme dans le moteur Lenoir, le mélange d'air et de gaz est admis dans le cylindre à la pression de l'atmosphère, et il possède cette tension au moment où, après admission pendant la moitié de la course environ, l'inflammation vient déterminer l'explosion. Or, dans les systèmes Otto et Simon, le mélange détonant est comprimé à l'avance et c'est sous pression qu'a lieu l'inflammation. La tension initiale résultant de l'explosion s'élève donc à 12 atmosphères, c'est-à-dire au double de celle dans les moteurs Hugon et Lenoir. En outre, cette inflammation est graduelle et produit une explosion non pas soudaine et brusque, mais progressive.

Ainsi :

Compression préalable du mélange détonant;

Inflammation graduelle de ce mélange :

Telles sont les idées nouvelles que l'on trouve appliquées dans les systèmes Otto et Simon.

Examinons maintenant comment cette application est réalisée dans l'un et dans l'autre.

SYSTÈME OTTO.

La machine de M. Otto présente dans sa construction un grand nombre de mécanismes et dispositifs ingénieux, dont l'analyse exigerait de longs développements qui sortiraient du cadre du sujet actuel. Il suffira de donner une description sommaire de la disposition d'ensemble de la machine.

Le moteur Otto ressemble extérieurement à une machine à vapeur à simple effet. Il se compose d'un cylindre unique horizontal, ouvert à un bout et fermé à l'autre par une culasse évidée intérieurement en forme de cône. Dans ce cylindre fonctionne un piston, en connexion par bielle et manivelle avec un arbre sur lequel est calé un fort volant. Derrière le fond du cylindre est situé l'appareil de distribution, qui comporte un tiroir actionné par une transmission prise sur l'arbre moteur. Le piston à fond de course laisse entre lui et le fond du cylindre un espace, qui est la chambre de compression; celle-ci, dans le type ordinaire, a une capacité qui est les 2/3 du volume engendré par le piston, soit les 2/5 de la capacité totale du cylindre.

Le cylindre fait à la fois office de pompe de compression et de cylindre moteur. Et ce n'est pas là une des moindres particularités par lesquelles se distingue le nouveau système.

La période complète du fonctionnement du moteur Otto s'accomplit en deux révolutions de l'arbre moteur ou quatre coups de piston. Elle comprend donc les quatre phases suivantes :

1° Le piston s'avance et aspire le mélange de gaz et d'air;

2° Le tiroir ayant fermé l'admission, le piston revient en arrière et comprime le mélange admis. Dans l'exemple cité, celui-ci se trouve réduit aux 2/5 du volume primitif, et amené à une pression un peu plus que doublée, c'est-à-dire supérieure à deux atmosphères;

3° Au moment où le piston arrive à fin de course, un filet de gaz allumé enflamme le mélange comprimé. L'expansion a lieu en vertu de la chaleur développée, et le piston avance, poussé par la pression des gaz dilatés : c'est la phase active;

4° Enfin le piston recule de nouveau, chassant devant lui les produits de la combustion détendus et refroidis, lesquels s'échappent dans l'atmosphère.

Ainsi, sur quatre coups de piston consécutifs, un seul, celui de la détente, transmet à l'arbre une force motrice; le second, qui fait la compression, en consomme; les deux autres, correspondant à l'aspiration et au refoulement, sont sans effet appréciable au point de vue du travail. Cette inégalité périodique des efforts moteurs et résistants justifie la grande masse donnée au volant. C'est la force vive qui y est accumulée qui fournit le travail de la compression. La régularisation de la machine se fait par un régulateur d'une disposition spéciale qui intercepte l'arrivée du gaz et, par conséquent, suspend l'inflammation quand la vitesse dépasse la vitesse normale. D'ailleurs, la marche du moteur est presque silencieuse, avantage précieux sur l'ancien système Otto et Langen. La vitesse est de 180 tours par minute.

Le travail moteur effectif recueilli est la différence du travail de la détente et du travail de la compression. L'examen de la courbe des pressions dans le diagramme du travail relevé à l'indicateur montre combien la variation des pressions se produit régulièrement, progressivement, sans les soubresauts et les saccades qui avaient lieu dans le moteur Lenoir.

La décroissance régulière des pressions dans le système Otto est due au ralentissement relatif que l'inventeur apporte à la combustion du mélange, et qui se trouve ainsi mieux proportionnée à la vitesse du piston moteur. De cette façon, la chaleur, au lieu de naître spontanément, se développe en quelque sorte au fur et à mesure qu'elle peut être absorbée par l'expansion de la masse gazeuse. On réduit donc ainsi la déperdition de la chaleur, et, par suite, on évite ce refroidissement rapide qui amène brusquement la chute de la pression, comme on le constate dans le cas du moteur Lenoir.

Comment M. Otto réalise-t-il cette combustion lente ou plutôt retardée? — Tout simplement par la manière de composer la masse gazeuse soumise à l'inflammation. Dans son cylindre, il introduit, non pas un mélange détonant unique, homogène, mais bien successivement deux mélanges de

compositions différentes. À cet effet, la disposition des lumières du tiroir est combinée de manière à admettre d'abord un mélange formé de 15 parties d'air pour une partie de gaz, c'est ce que M. Otto appelle le mélange *faiblement explosif*, puis un second mélange formé de 7 parties d'air pour une partie de gaz, ce qu'il appelle le mélange *fortement explosif*.

Les fluides gazeux qui composent la masse, ceux qui sont comburants comme l'oxygène de l'air, ceux qui sont combustibles ou inflammables comme l'hydrogène pur et les hydrogènes carbonés du gaz, et enfin ceux qui sont inertes comme l'azote de l'air et les résidus de la combustion précédente, se trouvent distribués, non pas uniformément dans la capacité du cylindre, mais bien suivant un ordre décroissant d'inflammabilité. Les parties les plus inflammables sont près du point d'allumage, celles qui le sont le moins avoisinent le piston; les tranches perpendiculaires de la masse sont de moins en moins explosives à partir du fond du cylindre. Il résulte de là qu'au moment de l'allumage, ce sont les molécules situées près du tiroir qui s'enflamment d'abord, puis l'inflammation se communique aux molécules suivantes, et ainsi de proche en proche jusqu'à celles qui touchent le piston. Cette combustion à *durée prolongée*, comme celle qu'on cherche à réaliser pour la déflagration de la poudre, engendre une chaleur qui, au lieu d'être produite tout d'un coup, se développe graduellement et par suite dilate progressivement les gaz. Il n'y a donc pas de tension subite comme celle qui résulte d'une explosion instantanée, mais bien une expansion régulière qui exerce sur le piston une pression continue et sans choc. Ces effets sont attestés nettement par la courbe du diagramme qui a été mentionné précédemment.

Cependant l'état particulier de composition et de compression où se trouve la masse gazeuse avant l'explosion se prête moins bien à une bonne inflammation que dans le cas où l'on a un mélange homogène et à la pression atmosphérique, pression qui est celle du bec d'allumage. Pour surmonter cette difficulté, M. Otto a renfermé le mélange fortement explosif dans un logement cylindrique ménagé dans l'épaisseur même du fond du cylindre. Dès qu'il se trouve en contact avec le bec allumeur, ce mélange forme une forte flamme qui, sortant avec impétuosité du petit logement, traverse la capacité du cylindre, et provoque sur son parcours l'inflammation de la masse gazeuse.

Telles sont les circonstances dans lesquelles s'effectue l'explosion dans le moteur Otto. On voit qu'elles satisfont aux conditions théoriques qui ont été indiquées au début. La bonne utilisation de chaleur qui en découle est justifiée par sa faible déperdition. Ainsi, l'expérience démontre que l'eau consommée par le refroidissement du cylindre est de 35 litres (dont la température s'élève de 10 à 85 degrés) par cheval et par heure. Cela fait 2,520 calories. En divisant par 6,000, on a la perte de chaleur, soit

42 p. 100. Pour la machine Lenoir, le rapport de la chaleur perdue à la chaleur totale atteint 0,85 d'après une des expériences de M. Tresca.

L'idée de la compression est empruntée aux moteurs à air chaud; elle a été appliquée, on le sait, par Ericksson et Franchot. Dans ces machines, elle a un double avantage : d'abord de diminuer la température à laquelle l'air doit être porté, et par suite l'échauffement, si nuisibles pour les machines, et ensuite de réduire notablement pour des forces à peu près égales le volume du cylindre moteur, et par suite les dimensions générales de la machine.

Mais si la compression préalable est éminemment avantageuse au point de vue pratique, on peut se demander s'il en est de même au point de vue du rendement. En d'autres termes, y a-t-il, oui ou non, avantage à comprimer et dans quelle mesure cette compression influe-t-elle sur le travail qu'est capable de produire une même masse gazeuse?

Le calcul montre que, contrairement à ce que l'on pouvait prévoir, la compression, dans les mêmes conditions, c'est-à-dire pour la même quantité de gaz employé, diminue théoriquement, et dans un rapport assez notable, le rendement en force motrice. Mais cette différence est de beaucoup compensée par la meilleure utilisation de la chaleur dans le moteur Otto. En tenant compte de la déperdition mesurée par l'échauffement de l'eau, on a un coefficient qui modifie la valeur du travail calculé, et l'on reconnaît que finalement le rendement dans le moteur Otto doit être près de trois fois supérieur à celui des moteurs Lenoir et Hugon. Il n'y a donc rien de surprenant à ce qu'au lieu de dépenser 2,700 litres par force de cheval et par heure, le moteur Otto puisse arriver à dépenser seulement un mètre cube, et peut-être moins, si l'on construit ce système pour les grandes forces.

MOTEUR L. SIMON.

Ce système repose sur les mêmes principes que le précédent, mais les réalise dans des conditions notablement différentes. La compression du mélange se fait dans un cylindre séparé. L'air et le gaz, après y avoir été comprimés, sont envoyés dans le cylindre moteur. A leur arrivée dans ce dernier, ils se trouvent en contact avec un bec de gaz qui brûle d'une manière constante, qui les enflamme et les oblige à se dilater et à pousser le piston en produisant de la force motrice. Les deux cylindres sont verticaux de préférence, et les tiges de leurs pistons sont reliées par des bielles à un arbre horizontal commun.

L'entrée du mélange dans le cylindre et l'échappement des produits de la combustion se font par des clapets actionnés par des cames fixées sur l'arbre moteur.

Dans ce système, le mélange gazeux, au lieu d'être introduit tout d'un

coup dans le cylindre comme dans le système Otto, y arrive successivement et en petites charges, qui s'y enflamment les unes après les autres et déterminent une expansion vraiment graduelle.

La chaleur, développée par petites quantités à la fois, s'emploie aussitôt pour la détente. Aussi y a-t-il peu de déperdition de calorique. Une très petite quantité d'eau suffit pour empêcher l'échauffement des cylindres, qui restent froids quand la machine a travaillé toute la journée.

La tension très régulière, presque sans choc, avec laquelle agissent les gaz est attestée par le diagramme qui a été relevé à l'indicateur sur la machine de l'Exposition.

On constate qu'au début il y a une variation un peu brusque de la pression par suite de l'ouverture immédiate du clapet d'admission. Puis la force élastique reste presque constante, le cylindre fonctionnant pour ainsi dire à pleine pression. Ensuite la pression descend jusqu'à la pression atmosphérique au moment de l'ouverture du clapet d'échappement. La surface de cette courbe est relativement grande, et comme d'autre part il y a peu de perte de chaleur, on s'explique le rendement que peut avoir ce moteur, dont, d'après M. Simon, la dépense serait de moins d'un mètre cube de gaz par cheval et par heure.

Un des caractères distinctifs de ce système réside dans la manière dont M. Simon a combiné l'action de la vapeur d'eau avec celle du mélange gazeux.

Pour tirer parti de la chaleur excessive qui règne dans le cylindre, on avait bien eu l'idée auparavant, et M. Hugon l'un des premiers, de lancer de l'eau dans le cylindre. Mais, outre que cette addition est difficile à régler, l'état liquide de ce nouvel auxiliaire ne concordait pas avec l'état gazeux du mélange, il le refroidit trop vite. Ces inconvénients sont évités par M. Simon en introduisant dans le cylindre de la vapeur déjà amenée à un certain état de tension dans une chaudière chauffée par les gaz de l'échappement. L'eau qui alimente la chaudière a d'abord circulé autour du cylindre pour le rafraîchir. Par cette disposition, on utilise donc et la chaleur qui se perd par les parois, et celle qui est entraînée à l'échappement. Enfin la détente de la vapeur dans le cylindre absorbe utilement une partie de la chaleur qui se dégage en excès au moment de l'explosion.

Grâce à cette adjonction, M. Simon déclare avoir augmenté considérablement le rendement de son système, et avoir réduit la dépense du gaz au-dessous de celle du moteur Otto.

Un autre avantage de la vapeur est de servir de lubrifiant en remplacement de l'huile.

MOTEUR DE BISSCHOP.

Ce système appartient à la classe des moteurs à gaz qui utilisent l'ex-

plosion à l'ascension du piston. Le cylindre est vertical, et le piston qui s'y meut est relié à l'arbre moteur au moyen d'une transmission par bielle en retour. Grâce à cette disposition très ingénieuse, M. de Bisschop peut donner à la course du piston la longueur nécessaire pour que la détente s'effectue aussi complètement que possible. Mais l'avantage qu'y trouve surtout M. de Bisschop, et cela avec raison, est la vitesse très grande que peut prendre ainsi le piston, et qui est mieux en rapport avec la rapidité de l'explosion.

Comme autre particularité de ce système, il convient de signaler la suppression de l'eau pour le refroidissement, lequel est obtenu par des surfaces rayonnantes, représentant cinq fois la surface extérieure du cylindre.

Les machines de Bisschop n'ont été, au moins jusqu'à présent, construites que pour de petites forces, en particulier pour actionner des machines à coudre. Elles fonctionnent avec une dépense qui est, à Paris et par heure, de 10 centimes pour le type de $\frac{1}{15}$ de cheval et de 25 centimes pour le type de $\frac{1}{2}$ cheval.

Les dispositions particulières de ce moteur ont été étudiées tout spécialement pour le mettre entre les mains du public, afin que la question de la petite force motrice fût réalisée industriellement.

On peut résumer ainsi ses avantages :

1° Il n'emploie pas d'eau;

2° Il présente une grande stabilité sans exiger de fondations; les pièces principales, le piston et le tiroir, sont équilibrées;

3° Il utilise aussi complètement que possible la force de l'explosion par la grande course donnée au piston;

4° Enfin, le choc est amorti par l'emploi du matelas d'air laissé à fond de course au-dessous du piston.

M. de Bisschop recommande de chauffer le moteur à l'aide d'une petite prise de gaz spéciale, quelques minutes avant la mise en marche. Le motif en est que, ne graissant pas le cylindre, le métal serait attaqué par l'eau que forme la combustion, et qui est acide. Ce chauffage a pour but de réduire cette eau en vapeur, et de faciliter ainsi son expulsion de la machine.

MOTEUR RAVEL.

Je terminerai en disant quelques mots de ce moteur qui malheureusement n'a pu être installé à l'Exposition dans des conditions qui lui permettent de fonctionner.

Dans ce système, qui est dénommé par l'auteur *moteur à centre de gravité variable*, la force explosive du mélange détonant est employée pour élever un piston pesant dans un cylindre. Le cylindre est muni de deux

tourillons qui tournent sur des paliers, et qui, prolongés, constituent l'axe moteur.

Une chambre d'explosion ménagée aux extrémités du cylindre ou indépendante reçoit le mélange détonant, qui s'y enflamme au contact d'un bec de gaz et pousse le piston de bas en haut. Le poids de celui-ci, agissant à l'extrémité du cylindre comme bras de levier, entraîne ce cylindre dans sa chute à la manière d'un pendule. Mais dès que ce dernier est au point le plus bas, une nouvelle explosion fait remonter le piston pesant à l'extrémité supérieure. Le cylindre, qui a continué son oscillation, reçoit ainsi une nouvelle impulsion, dépasse le point supérieur, et accomplit une succession de révolutions, dont la vitesse est réglée par l'effort résistant opposé au poids du piston.

L'examen qui a été fait de la première machine d'essai construite d'après ce système ne permet pas de porter un jugement définitif sur le mérite de ce mode d'emploi des mélanges détonants.

Cependant, en principe, rien ne s'oppose à ce que ce système soit aussi économique, si ce n'est plus, que ceux qui ont été précédemment cités, car la force explosible agissant sur un piston libre, à déplacement rapide, est utilisée suivant une des conditions que prescrit la théorie pour une bonne utilisation de la chaleur développée.

CONCLUSION.

Ayant ainsi passé en revue les moteurs à gaz perfectionnés qui figurent à l'Exposition, si nous revenons en arrière et si nous mesurons l'étendue du chemin parcouru dans cette question depuis 1867, nous constatons que de sérieux progrès ont été accomplis.

Le grand pas fait vers la perfection ne résulte pas seulement d'innovations plus ou moins ingénieuses dans les dispositions mécaniques, il est dû aussi à une étude plus attentive du rôle de la chaleur dans le jeu de ces machines. D'après l'admirable découverte qui a fondé la thermodynamique, chaleur et mouvement sont les effets d'une même cause; comme on dit, ils sont équivalents. Toute perte de chaleur est donc une perte de travail, et dans le cas des moteurs considérés, la chaleur produite représente la dépense du gaz employé, le coût de la force motrice.

La dépense est donc liée intimement au mode d'utilisation de la chaleur.

Cette dépense, dans les moteurs à action directe, a été, comme je l'ai indiqué, considérablement diminuée, puisque de 2 mètres cubes et demi qu'elle était pour le moteur Lenoir, elle est descendue à 1 mètre cube dans le moteur Otto.

Une réduction de la dépense avait été, il est vrai, obtenue et même poussée plus loin dans le moteur à pression atmosphérique, c'est-à-dire à

action indirecte d'Otto et Langen. Mais cet avantage était détruit par l'inconvénient que ce système avait de fonctionner avec des chocs et un bruit intolérable. Ces machines, presque partout abandonnées aujourd'hui, n'ont guère eu de vogue qu'en Allemagne, et cela au grand étonnement de ceux qui attribuent à nos voisins d'outre-Rhin une oreille plus délicate et plus musicale que la nôtre.

Ainsi les systèmes Otto et Simon possèdent une grande supériorité de rendement. Si cet avantage ne se retrouve pas, au moins quant à présent, dans les moteurs de M. de Bisschop, ce système ne mérite pas moins une appréciation favorable pour avoir réalisé, sous une forme commode et éminemment simple, l'application du gaz pour de petites forces aux usages domestiques ou à la petite industrie. Il fournit une solution du problème depuis si longtemps posé de la recherche du petit moteur domestique de la force d'un homme, de $\frac{1}{15}$ à $\frac{1}{5}$ de cheval-vapeur, question éminemment importante par son côté moralisateur. Quoi de plus naturel, en effet, dans les villes, que d'employer le gaz pour transporter à la fois la force et la lumière à domicile? En même temps qu'il éclaire l'atelier, le gaz peut actionner les outils qui s'y trouvent, le tour de l'ouvrier, la machine à coudre de la femme. L'homme et sa compagne peuvent rester chez eux près de leurs enfants, et y gagner leur existence par des travaux à façon. Ils ne sont plus obligés de venir chercher la force motrice dans les manufactures, dont le séjour est si nuisible à l'esprit de famille.

Mais pour que l'emploi du moteur à gaz prenne de l'extension, il est nécessaire que le prix du gaz soit abaissé, car il met à un taux trop élevé les frais provenant de la force motrice. Est-il possible d'admettre que l'on maintienne au même chiffre le gaz d'éclairage et le gaz dit de chauffage que l'on peut utiliser bien mieux dans les moteurs à gaz, et dont le prix de revient doit être moins considérable?. Avec une tonne de houille on produit environ 300 mètres cubes de gaz ordinaire; mais si l'on ne tient pas aux propriétés éclairantes, on peut tirer de la tonne de houille le double d'un gaz combustible. Il serait à désirer que les compagnies, dans les villes, fussent en mesure de donner cette satisfaction au public, et sans qu'il soit nécessaire de préciser un moyen, on conçoit la possibilité d'utiliser les mêmes canalisations pour transporter et distribuer une certaine espèce de gaz le jour, et une autre espèce le soir. Tout au moins pendant le jour pourra-t-on faire payer moins cher le gaz employé pour alimenter les moteurs.

En faisant l'éloge du moteur à gaz et en désirant que son usage se développe le plus possible, ne croyez pas que je prétende que le gaz doive supplanter un jour ou l'autre la vapeur. Il y a place pour tous au soleil. Les moteurs à gaz ont eux-mêmes à lutter avec les petits moteurs à vapeur, avec des moteurs à eau, et aux uns comme aux autres on devra

préférer les moteurs à air chaud toutes les fois que l'on n'aura à sa disposition ni gaz ni eau.

Deux de ces systèmes figurent à l'Exposition, le moteur américain de Rider et le moteur autrichien de Martin Hock. Lorsqu'on est éloigné d'une ville, on pourrait remplacer le gaz par de l'air carburé au moyen d'un liquide volatil inflammable, tel que l'essence de pétrole.

Le vœu que j'émettrai en terminant, est de ne pas voir s'arrêter la marche du progrès, et de le voir continuer dans cette voie qui consiste à perfectionner les machines en général, de façon à soulager l'homme dans ses travaux matériels, et à demander tout de son intelligence et presque rien de sa force musculaire. Bien que nous soyons encore assez éloignés du *desideratum*, une pensée consolante nous réjouit, lorsque sous ce point de vue nous comparons notre époque à l'antiquité. Au lieu des écriteaux des marchés qui portaient ces tristes mots : *Vente d'esclaves*, nous lisons sur les enseignes modernes : *Location de force motrice*. (Vifs et nombreux applaudissements.)

M. Tresca, *Président*. Messieurs, il se trouve que, par hasard, je ne suis pas tout à fait incompétent en ce qui concerne les questions qui viennent d'être très bien traitées par M. Armengaud jeune; je partage d'une manière générale ses opinions et je trouve que les indications qu'il nous a présentées répondent parfaitement à l'historique de la question et à son importance pratique.

Cependant je vous demanderai la permission d'appeler, d'une manière un peu plus incisive, votre attention sur deux points des indications qui vous ont été données.

Si je compte bien, l'ancienne machine Hugon ou Lenoir, dépensant 2,500 litres par heure et par force de cheval, représentait, au taux du gaz à Paris, une dépense totale de 75 centimes par heure, pour obtenir l'équivalent d'un cheval-vapeur, c'est-à-dire pour obtenir, cette heure durant, 75 kilogrammètres par seconde : les deux chiffres sont identiques; par conséquent pour obtenir 1 kilogrammètre par seconde, il fallait dépenser, par heure, 1 centime. Et si nous estimons la quantité de travail fournie par un homme tournant une manivelle d'une manière continue à 5 kilogrammètres, il arrive que la machine dont j'ai parlé fournissait la quantité de travail demandée à un manœuvre à raison de 5 centimes par heure.

C'était déjà un résultat considérable au point de vue de l'affranchissement du manœuvre fournissant un travail manuel. Cette consommation ayant diminué de moitié par suite des dernières dispositions qui ont été adoptées, il arrive ceci : que l'homme-machine se trouve être représenté dans la machine à gaz par une dépense qui n'est plus aujourd'hui que de 2 centimes et demi.

Il y a là un fait économique de premier ordre sur lequel il était nécessaire de s'appesantir un instant. Et si maintenant nous examinons les progrès faits sur la machine à gaz depuis l'Exposition de 1867, nous voyons que cette consommation n'a pas beaucoup diminué pour les petites forces. La dépense est à peu près la même aujourd'hui que ce qu'elle était il y a dix ans, mais on a cherché à obtenir le travail moteur d'une manière plus commode, et surtout on a cherché à l'obtenir sans augmentation relative de la dépense sur les machines les plus petites. C'est que, en effet, le problème est là. Il consiste à mettre entre les mains de l'ouvrier le travail moteur qui lui est seulement nécessaire pour le fonctionnement d'une machine à coudre ou de tout autre engin analogue.

Ce côté du problème est précisément celui qui a été poursuivi par les dispositions dernières indiquées par M. de Bisschop, et je crois, comme M. Armengaud jeune, que, dans cet ordre de considérations, et surtout en cherchant à obtenir des machines de très petites dimensions, sans augmenter la dépense proportionnelle, il doit y avoir une solution extrêmement intéressante, surtout pour les petites industries.

Dans les considérations qu'il nous a présentées, M. Armengaud jeune nous a montré la machine à gaz dépendant de la production du gaz courant. Nous étions liés à la production et à la canalisation de ce gaz courant; mais il aurait peut-être pu ajouter qu'il est très facile de faire fonctionner la machine à gaz en se mettant à l'abri de cette solidarité. Il suffit en effet de prendre l'air atmosphérique, de le rendre explosible en le mélangeant, dans une certaine proportion, avec des vapeurs combustibles, pour obtenir économiquement un gaz explosible dont le résultat est, à peu de chose près, équivalent à celui qui est obtenu par le gaz courant.

Je tenais à faire ces observations, car la machine à gaz ainsi modifiée est encore une machine dans laquelle le calorique, ou sa transformation en travail, est le mieux utilisé. Et j'ai pour ma part une confiance bien plus grande dans l'avenir de la petite machine à gaz avec air combustible, que je n'en ai dans la machine à air qui exige un grand volume et qui ne paraît pas répondre convenablement aux conditions théoriques du problème. (Applaudissements réitérés.)

Il y a là un fait économique de premier ordre sur lequel il était nécessaire de s'appesantir un instant. Et si maintenant nous examinons les progrès faits sur la machine à gaz depuis l'Exposition de 1867, nous voyons que cette consommation n'a pas beaucoup diminué pour les petites forces. La dépense est à peu près la même aujourd'hui que ce qu'elle était il y a dix ans, mais on a cherché à obtenir le travail moteur d'une manière plus commode, et surtout on a cherché à l'obtenir sans augmentation relative de la dépense sur les machines les plus petites. C'est que, en effet, le problème est là. Il consiste à mettre entre les mains de l'ouvrier le travail moteur qui lui est seulement nécessaire pour le fonctionnement d'une machine à coudre ou de tout autre engin analogue.

Ce côté du problème est précisément celui qui a été poursuivi par les dispositions dernières indiquées par M. de Bisschop, et je crois, comme M. Armengaud jeune, que, dans cet ordre de considérations, et surtout en cherchant à obtenir des machines de très petites dimensions, sans augmenter la dépense proportionnelle, il doit y avoir une solution extrêmement intéressante, surtout pour les petites industries.

Dans les considérations qu'il nous a présentées, M. Armengaud jeune nous a montré la machine à gaz dépendant de la production du gaz courant. Nous étions liés à la production et à la canalisation de ce gaz courant; mais il aurait peut-être pu ajouter qu'il est très facile de faire fonctionner la machine à gaz en se mettant à l'abri de cette solidarité. Il suffit en effet de prendre l'air atmosphérique, de le rendre explosible en le mélangeant, dans une certaine proportion, avec des vapeurs combustibles, pour obtenir économiquement un gaz explosible dont le résultat est, à peu de chose près, équivalent à celui qui est obtenu par le gaz courant.

Je tenais à faire ces observations, car la machine à gaz ainsi modifiée est encore une machine dans laquelle le calorique, ou sa transformation en travail, est le mieux utilisé. Et j'ai pour ma part une confiance bien plus grande dans l'avenir de la petite machine à gaz avec air combustible, que je n'en ai dans la machine à air qui exige un grand volume et qui ne paraît pas répondre convenablement aux conditions théoriques du problème. (Applaudissements réitérés.)

PALAIS DU TROCADÉRO. — 16 JUILLET 1878.

CONFÉRENCE

SUR

LA FABRICATION DU GAZ D'ÉCLAIRAGE,

PAR M. ARSON,

INGÉNIEUR DE LA COMPAGNIE PARISIENNE DU GAZ.

COMPOSITION DU BUREAU.

Président :

M. Trélat, professeur au Conservatoire des arts et métiers.

Assesseurs :

MM. Gargan, président de la Chambre syndicale des mécaniciens;
Charton, ingénieur;
Melon de Pradou, administrateur de la Compagnie des travaux publics;
Servier, ingénieur.

La séance est ouverte à 2 heures.

M. le Président. Messieurs, vous avez tous lu le sujet de la conférence qui va être faite devant vous : *la fabrication du gaz d'éclairage.*

En choisissant ce sujet, la Commission a voulu exposer devant vous l'une des plus intéressantes et des plus considérables applications industrielles de ce siècle.

Quand notre œil, distrait par l'habitude, voit les nombreux becs de gaz qui occupent nos rues, nous ne nous rendons pas immédiatement compte de l'importance de cette grosse fabrication, nous oublions sa longue histoire, et nous n'avons pas conscience des obstacles qui ont encombré son origine.

Il y a là sous le sol de nos grandes villes, qui ne connaissent plus les ténèbres, il y a, dis-je, sous le sol de nos grandes villes un matériel énorme qui n'est pas très facile à comprendre et à définir dans ses conditions.

Il y a des usines considérables qui n'ont pas été plus faciles à organiser; et, quand on considère cette grande industrie à l'heure qu'il est, et qu'on la compare à ce qu'elle était il y a quarante ans; quand on mesure la somme d'obstacles qu'elle a eu à vaincre, les impasses qui se sont présentées devant elle et l'état florissant dans lequel elle se trouve aujourd'hui; quand on suppute les capitaux dont elle dispose, capitaux qui atteignent à plusieurs centaines de millions, il n'est pas inexact de placer l'industrie de la fabrication du gaz immédiatement après l'énorme industrie des chemins de fer.

Ce sont ces considérations, Messieurs, qui ont déterminé le choix de la Commission en faveur du sujet qui va être traité devant vous.

Permettez-moi d'ajouter que le conférencier qui va vous parler est non seulement un des ingénieurs les plus distingués de notre corps d'ingénieurs civils, mais qu'il est attaché depuis un très grand nombre d'années à l'industrie dont il va vous parler, qu'il a eu le bonheur et l'honneur de travailler avec les premiers initiateurs, et qu'il est, avec ses collègues et au milieu d'eux, un des hommes les plus notables qui ont fait progresser l'industrie de la fabrication du gaz. (Applaudissements.)

M. Arson n'est pas que cela, il n'est pas qu'un ingénieur habile, il est un homme d'étude et de science, il est véritablement un savant.

Je donne la parole à M. Arson.

M. Arson. Messieurs, le besoin d'un éclairage artificiel est aussi ancien que le monde.

Il constitue un problème qui a constamment tenu l'intelligence humaine en activité.

Il a d'ailleurs reçu des solutions nombreuses, et celles qui ont un caractère irrécusable remontent à plus de trois mille ans. Des lampes d'origine égyptienne, qu'on trouve en grand nombre dans tous les musées et particulièrement dans celui de l'Exposition, témoignent à la fois de l'importance du besoin ressenti à ces époques reculées et de la perfection avec laquelle il était déjà satisfait.

Ce besoin se justifie d'ailleurs facilement : l'activité humaine ne pouvait se résigner à consacrer au repos la moitié de son temps; et d'ailleurs la durée des nuits atteint, sous certaines latitudes, une longueur qui dépasse la mesure de la patience la plus résignée.

Les temps modernes, et surtout le temps présent, ont poussé bien loin l'exigence de ce besoin, et l'industrie humaine a répondu à leur demande par des solutions nombreuses.

L'une des conditions du problème, la plus impérieuse peut-être, était de n'exiger de l'homme, permettez-moi de dire tout de suite : du consommateur, qu'une coopération aussi simple que possible.

Nous ne songeons à la lumière que quand elle nous fait défaut, et à ce moment nous la voulons tout de suite. C'est que la lumière n'est pas l'objet direct de nos préoccupations, mais seulement un moyen qui nous permet de satisfaire aux besoins qui nous assiègent.

C'est là, Messieurs, la raison principale du succès de l'éclairage au gaz. Le consommateur le trouve toujours prêt à satisfaire à ses besoins. Les villes lui doivent un éclairage instantané, répandu jusque dans les rues les plus isolées.

Enfin cet éclairage peut être réalisé à tel moment que ce soit, sans préparation préalable comme sans interruption.

L'éclairage n'est pas la seule application qui ait été faite du gaz de la houille; le chauffage des habitations lui doit des solutions heureuses, et, pour qui sait s'en servir, des solutions économiques.

La production des forces motrices propres aux petites industries est aussi une application qui va croissant tous les jours.

C'est là une intéressante utilisation du calorique que le gaz dégage en brûlant. C'est une compensation heureuse au défaut qu'on lui reproche, de donner aussi de la chaleur quand on ne lui demande que de la lumière.

Enfin l'industrie tout entière tire aujourd'hui du gaz de la houille le bénéfice d'applications nombreuses que nul autre moyen ne pourrait satisfaire aussi convenablement.

Il n'est pas possible de parler d'une industrie d'origine aussi récente sans rappeler le nom de son inventeur et sans lui rendre hommage.

C'est Lebon d'Undersal, ingénieur des ponts et chaussées, qui en conçut l'idée et qui en fit les premières applications en 1794, applications limitées il est vrai à l'intérieur de l'hôtel Seignelay qu'il a habité rue Saint-Dominique, mais auxquelles il avait donné déjà des solutions très voisines de celles qui sont encore pratiquées.

Fourcroy a soutenu les espérances justement enthousiastes de Lebon, et l'application eût pris un essor plus rapide, si la mort n'était venu frapper trop tôt l'inventeur.

DE LA HOUILLE.

C'est de la houille, comme matière première, qu'on tire la production des hydrogènes carbonés qui constituent le gaz d'éclairage, tel qu'on le fabrique à Paris du moins.

Toutes les houilles ne conviennent pas également bien à la production du gaz.

Les couches supérieures de tous les gisements donnent un coke boursouflé sans valeur.

Les couches inférieures sont anthraciteuses, elles fournissent peu de gaz et ne laissent en résidu qu'un charbon pulvérulent peu utilisable.

Les couches moyennes fournissent seules des charbons propres à la fabrication du gaz et à la formation du coke.

La latitude occupée par les gisements leur imprime, toutes choses égales d'ailleurs, des caractères différents :

L'oxygène est en plus grande quantité dans les gisements du sud de l'Europe que dans ceux du nord, et, par conséquent, l'acide carbonique produit pendant la distillation est en plus grande proportion.

Inversement le soufre est plus abondant dans les charbons du nord, et le gaz qui en provient exige une épuration plus complète.

DISTILLATION.

La distillation de la houille s'opère vers 350°!

Tant que la transformation de la houille en coke n'est pas complète, la chaleur qui lui parvient n'élève pas cette température. Un phénomène analogue à celui de l'ébullition se produit, de la chaleur latente est absorbée.

Ce fait si facile à prévoir est d'ailleurs facile à constater expérimentalement. M. Audouin, ingénieur, attaché à la Compagnie parisienne, et qui lui donne un concours si précieux, a fait l'observation suivante :

Il a placé dans un four dont la température ne s'élève que lentement, un four de briqueterie, des creusets contenant du charbon en poudre fine.

L'état de ce charbon ni son poids n'ont varié tant que le four n'a pas été porté à la température de 350° centigrades.

Peu après, la distillation était complète, le charbon était cokéfié et la distillation était terminée avant que la température eût atteint 400°.

La distillation de la houille a d'abord été opérée dans des cornues en fonte, mais aujourd'hui les cornues en terre cuite sont exclusivement employées.

La pâte de ces pièces est grossière, et, grâce à cette condition, elle résiste bien aux changements brusques de température que lui imposent les chargements de charbon froid et souvent mouillé.

Cette constitution n'est pas favorable à la conductibilité de ces pièces pour la chaleur, et cependant la distillation de la houille s'y opère rapidement, grâce à l'énorme différence de température qui existe entre le four et la houille soumise à la distillation.

L'opération se produit même avec une régularité qui étonne. On est surpris tout d'abord en constatant que la production du gaz apparaît dès le commencement de la distillation, et dans une proportion telle qu'on est conduit à en rechercher la cause.

On la trouve dans la quantité de chaleur contenue dans la cornue,

chaleur qui est accumulée pendant les derniers temps de la distillation précédente, et qui se transmet à la houille avec la rapidité que provoque la différence des températures de la cornue et du charbon.

Ce point est si important, Messieurs, que j'ai fait récemment tous mes efforts pour l'établir avec toute la solidité possible, et je mets sous vos yeux un échantillon de coke retiré d'une cornue avec un soin extrême. Si vous voulez bien regarder comment il est constitué, vous verrez qu'il est une affirmation très positive de ce que je viens de vous dire.

La partie inférieure qui repose sur la cornue est distillée par une transmission de chaleur due au contact.

La partie supérieure du charbon est, au contraire, distillée par le rayonnement de la voûte, et non plus par contact; eh bien! en suivant les progrès de la distillation à travers la masse, on arrive à trouver que ces deux sources de chaleur se sont rencontrées dans la couche moyenne qui est presque aussi éloignée de la partie supérieure que de la partie inférieure, de sorte que le rayonnement de la voûte a certainement fourni autant de chaleur que la base même de la cornue, qui est directement chauffée par le combustible et avec laquelle le charbon est en contact immédiat.

Ces observations me semblent intéressantes, et si je les ai mises sous vos yeux, c'est parce qu'elles viennent éclairer les études qu'on peut faire sur l'utilité qu'il y aurait à amincir l'épaisseur des cornues qui sont en terre cuite, corps très mauvais conducteur de la chaleur. On devait craîndre que la quantité de chaleur qui doit passer à travers cette paroi ne fût singulièrement retardée par le manque de conductibilité de cette matière. Or il se produit un fait qui n'était pas prévu, quoique très naturel, et qui est extrêmement favorable à la distillation. La cornue est épaisse et accumule une quantité de chaleur pouvant être rayonnée, transmise par contact, et en tous cas fournie pendant les premiers temps de la distillation.

La distillation dure à Paris quatre heures; il arrive que, pendant la dernière heure, la distillation étant faite et n'absorbant plus de chaleur, la cornue accumule le calorique qui lui est donné par le foyer, en fait magasin, et c'est au moment où l'on vient charger le charbon qu'elle rend à ce charbon la chaleur dont il a besoin pour commencer immédiatement sa distillation.

Le temps que la chaleur met à pénétrer dans la houille en distillation dépend évidemment de la différence de température entre cette houille et le vase qui la contient.

Suivant donc que le four où sont contenues les cornues est chauffé avec plus ou moins d'activité, la distillation de la houille est plus ou moins longue à s'accomplir.

Cette condition exerce aussi une influence particulière sur le résultat, il importe de la signaler dès ce moment.

Contre toute attente, la distillation lente est aussi coûteuse de combustible que la distillation rapide.

En outre, elle a le grave défaut de laisser le gaz en contact avec les parois rouges de la cornue pendant un temps plus long. De là il résulte :

1° Un affaiblissement du pouvoir éclairant du gaz;

2° Une formation de sulfure de carbone que la distillation rapide ne produit pas dans la même proportion que la distillation lente.

La distillation rapide, dans une cornue à température élevée, fournit le meilleur résultat, en volume et en qualité, mais à la condition expresse que la houille en distillation soit dans la plus grande proportion que puisse recevoir la cornue.

La distillation de 100 kilogrammes de houille produit moyennement :

En coke	71 kilogrammes
En gaz	15
En eau ammoniacale	8
En goudron	6

Ces quantités sont représentées avec des valeurs proportionnelles sur le tableau que j'ai l'honneur de mettre sous vos yeux.

Les mètres cubes de gaz y sont représentés en grandeur réelle et figurés sous une forme géométrique à laquelle l'esprit est habitué. Le charbon y est figuré avec le volume qu'il a dans le commerce lorsqu'on achète et qu'on pèse 100 kilogrammes de charbon.

Le coke y est également figuré avec le volume qui résulte de la distillation de 100 kilogrammes de charbon; et, enfin, le goudron et l'eau ammoniacale y figurent pour le très petit volume qu'ils occupent relativement.

Il m'a semblé que cette forme pouvait fournir à l'esprit un moyen d'appréciation plus facile que des chiffres énoncés rapidement.

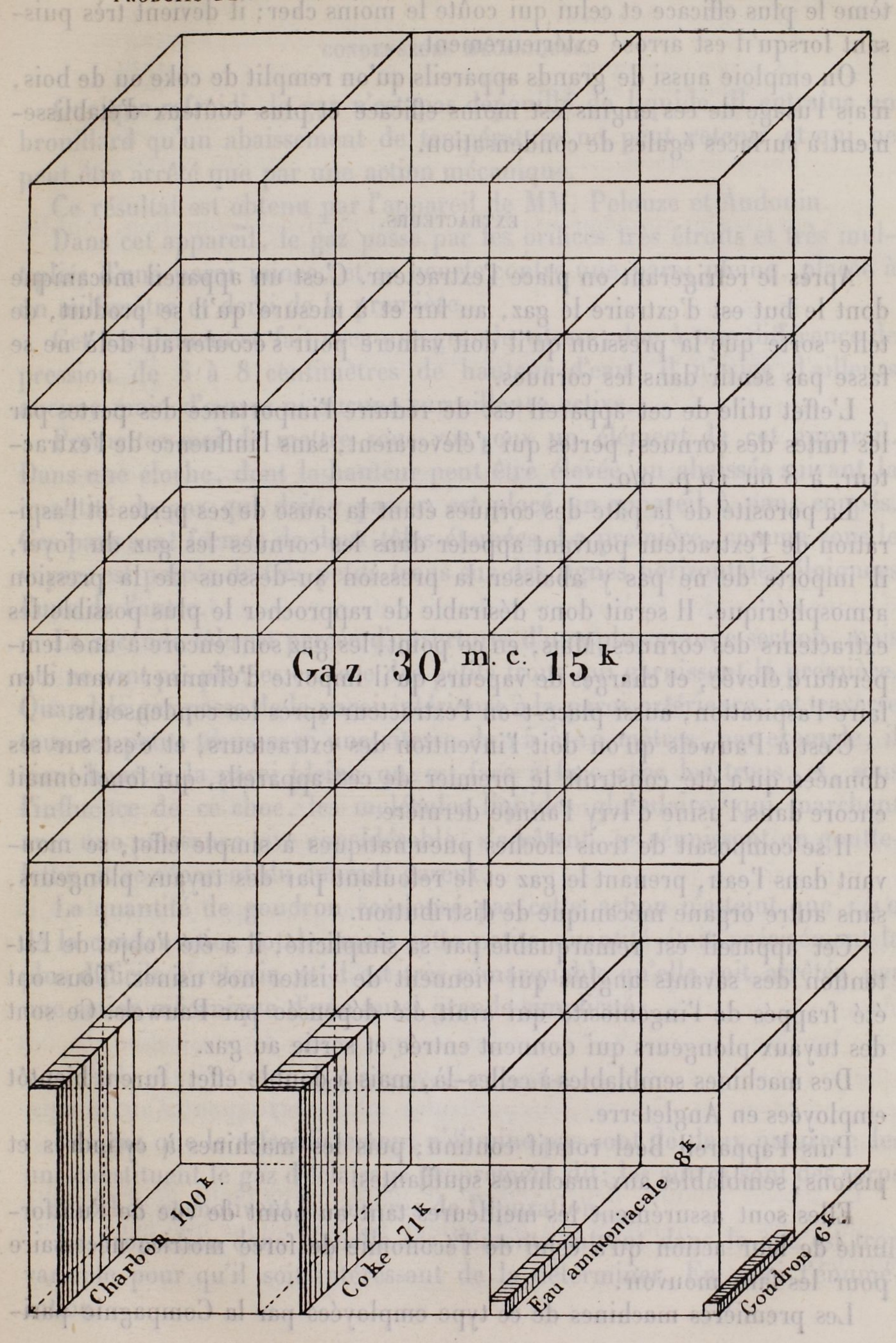
CONDENSATION.

Le gaz produit, il faut abaisser sa température et condenser les corps volatiles qu'il entraîne avant de le laisser parvenir aux appareils d'épuration.

Ce refroidissement est commencé dans les tuyaux collecteurs de la fabrication, mais il n'est achevé que dans les appareils spéciaux établis dans ce but.

Des systèmes très différents ont été employés.

PRODUITS DE LA DISTILLATION DE 100 KILOGRAMMES DE HOUILLE.



On fait usage, depuis l'établissement des premières usines à gaz, de tuyaux de conduite disposés verticalement en jeux d'orgues. C'est le système le plus efficace et celui qui coûte le moins cher; il devient très puissant lorsqu'il est arrosé extérieurement.

On emploie aussi de grands appareils qu'on remplit de coke ou de bois, mais l'usage de ces engins est moins efficace et plus coûteux d'établissement à surfaces égales de condensation.

EXTRACTEURS.

Après le réfrigérant on place l'extracteur. C'est un appareil mécanique dont le but est d'extraire le gaz, au fur et à mesure qu'il se produit, de telle sorte que la pression qu'il doit vaincre pour s'écouler au delà ne se fasse pas sentir dans les cornues.

L'effet utile de cet appareil est de réduire l'importance des pertes par les fuites des cornues, pertes qui s'élèveraient, sans l'influence de l'extracteur, à 8 ou 10 p. o/o.

La porosité de la pâte des cornues étant la cause de ces pertes et l'aspiration de l'extracteur pouvant appeler dans les cornues les gaz du foyer, il importe de ne pas y abaisser la pression au-dessous de la pression atmosphérique. Il serait donc désirable de rapprocher le plus possible les extracteurs des cornues. Mais, en ce point, les gaz sont encore à une température élevée, et chargés de vapeurs qu'il importe d'éliminer avant d'en faire l'aspiration, aussi place-t-on l'extracteur après les condenseurs.

C'est à Pauwels qu'on doit l'invention des extracteurs, et c'est sur ses données qu'a été construit le premier de ces appareils, qui fonctionnait encore dans l'usine d'Ivry l'année dernière.

Il se composait de trois cloches pneumatiques à simple effet, se mouvant dans l'eau, prenant le gaz et le refoulant par des tuyaux plongeurs, sans autre organe mécanique de distribution.

Cet appareil est remarquable par sa simplicité, il a été l'objet de l'attention des savants anglais qui viennent de visiter nos usines. Tous ont été frappés de l'ingéniosité qui avait été dépensée par Pauwels. Ce sont des tuyaux plongeurs qui donnent entrée et sortie au gaz.

Des machines semblables à celles-là, mais à double effet, furent bientôt employées en Angleterre.

Puis l'appareil Beel rotatif continu; puis les machines à cylindres et pistons, semblables aux machines soufflantes.

Elles sont assurément les meilleures tant au point de vue de l'uniformité de leur action qu'à celui de l'économie de force motrice nécessaire pour les faire mouvoir.

Les premières machines de ce type employées par la Compagnie pari-

sienne ont été construites par M. Gargan, et fonctionnent dans l'usine à gaz de la Villette depuis 1862.

CONDENSEURS MÉCANIQUES.

Quoique refroidi, le gaz n'est pas dépouillé de liquide. Il entraîne un brouillard qu'un abaissement de température ne peut retenir et qui ne peut être arrêté que par une action mécanique.

Ce résultat est obtenu par l'appareil de MM. Pelouze et Audouin.

Dans cet appareil, le gaz passe par les orifices très étroits et très multipliés d'une paroi mince, et se heurte contre une paroi pleine, placée à un millimètre et demi de la première.

Cet écoulement se fait avec une grande vitesse, due à une différence de pression de 6 à 8 centimètres de hauteur d'eau. Il n'exige d'ailleurs aucune main-d'œuvre ni aucune surveillance active.

Permettez-moi de mettre sous vos yeux un élément de cet appareil. Dans une cloche, dont la hauteur peut être élevée ou abaissée suivant la quantité de gaz qui doit y passer, est placé un appareil à pans coupés. Ces pans sont formés de deux tôles étamées. La première, comme vous le voyez, est percée de très petits trous sur des lignes horizontales éloignées l'une de l'autre.

La seconde tôle est percée d'ouvertures d'une plus grande section, mais qui ne sont pas placées en face des petits trous qui garnissent la première. Quand le gaz passe de la paroi intérieure à la paroi extérieure, et traverse tous ces petits trous avec une vitesse de 15 à 20 mètres, par exemple, il vient heurter la paroi pleine qui est face à face avec les trous, et, sous l'influence de ce choc, les molécules liquides globulaires qui marchent avec une puissance vive considérable, s'arrêtent, se réunissent en gouttelettes et se séparent du courant gazeux.

La quantité de goudron condensé par cette action n'atteint que 1/10 de la condensation totale, mais cette petite quantité était précisément la plus difficile à retenir, et il est très remarquable qu'elle soit arrêtée par une action mécanique d'une aussi grande simplicité.

PRODUITS GAZEUX PERMANENTS.

Les gaz que le refroidissement n'élimine pas sont de deux natures : les uns constituent le gaz d'éclairage proprement dit; les autres sont des corps à absorber et motivent les œuvres de l'épuration.

La proportion dans laquelle ces éléments entrent dans le gaz est trop variable pour qu'il soit intéressant de la déterminer. En voici l'énumération.

Les gaz utiles à la production de la lumière sont :

L'hydrogène	H
L'hydrogène protocarboné	CH^2
L'hydrogène carboné	C^2H^2
Le carbure d'hydrogène	C^4H^4
Le sesquicarbure d'hydrogène	C^6H^4
Le bicarbure d'hydrogène	C^6H^3
La naphtaline	$C^{10}H^4$
L'oxyde de carbone	CO

Les gaz inutiles ou même nuisibles, et qui motivent l'épuration, sont les suivants :

L'azote	Az
L'acide carbonique	CO^2
L'hydrogène sulfuré	HS
L'ammoniaque	AzH^3
Le sulfure de carbone	CS^2

Le premier groupe, celui qui comprend les gaz utiles, ne réclame que les soins et les ménagements qui éviteront leur altération.

Nous y avons classé l'hydrogène pur et l'oxyde de carbone, parce que ces corps, en brûlant, contribuent à donner la chaleur qui produit la décomposition des hydrogènes carbonés, et, par suite, la présence dans la flamme de ces particules solides et incandescentes qui lui donnent son pouvoir éclairant.

Permettez-moi de vous rappeler la démonstration que faisait il y a déjà longtemps, au Conservatoire des arts et métiers, Clément Desormes. J'ai eu le bonheur de l'entendre, et je n'ai jamais oublié la façon très ingénieuse et très saisissable par laquelle il faisait apprécier à ses élèves le rôle de la présence des corps solides, combustibles d'ailleurs, dans la flamme du gaz.

Il plaçait sur une brosse un corps combustible en poussière très fine, de la résine par exemple, puis il prenait une lampe à esprit de vin, dont la flamme est, comme vous le savez, dépourvue de pouvoir lumineux et presque incolore; passant alors la main sur la brosse, il chassait dans la flamme la poussière combustible, et il se produisait immédiatement une vive lumière, ce qui était pour lui un moyen de démonstration du fait que je viens d'énoncer, à savoir que le pouvoir éclairant résulte de la suspension, dans une flamme, des particules solides manquant d'air, rougissant et projetant alors leur lumière par rayonnement.

Le second groupe, heureusement le moins volumineux de beaucoup, contient les gaz nuisibles qui nécessitent les opérations que nous allons étudier.

ÉPURATION.

L'épuration a pour but l'élimination de :

L'acide carbonique ;

L'ammoniaque ;

L'hydrogène sulfuré ;

Le sulfure de carbone.

Examinons d'abord les caractères de ces corps, nous comprendrons plus facilement ensuite les méthodes employées pour les retenir.

ACIDE CARBONIQUE.

L'acide carbonique n'a pas d'action fâcheuse dans le gaz au point de vue de la salubrité, mais il nuit beaucoup au pouvoir éclairant. On en a la preuve et la mesure par une observation bien simple.

Si l'on introduit volontairement 1 p. 0/0 d'acide carbonique dans le gaz, on fait tomber sa qualité éclairante de 10 p. 0/0.

La proportion d'acide carbonique contenu dans le gaz varie avec la provenance du charbon distillé.

Les charbons du nord de l'Europe en contiennent à peine 1 1/2 p. 0/0.

Les charbons du sud en fournissent souvent plus de 4 p. 0/0.

L'extraction de l'acide carbonique n'est pas obligée, le fabricant ne doit consulter à cet égard que son intérêt. Mais cet intérêt est souvent assez grand pour qu'une élimination de l'acide carbonique soit une opération utile.

Ce gaz joue le rôle d'un acide faible ; ce n'est donc qu'avec un alcali puissant qu'on peut le retenir. La chaux, la soude ou la potasse atteignent bien ce but, l'ammoniaque aussi, et puisque l'ammoniaque existe déjà dans le gaz, puisque la fabrication même pourra en fournir, que des opérations ultérieures devront être mises en œuvre pour l'éliminer, il serait logique d'y avoir recours pour absorber l'acide carbonique.

L'opération n'est cependant pas encore pratiquée couramment. Un chimiste que notre industrie connaît bien, M. Mallet, a tenté cette épuration. Il a même été trop loin, la puissance de ses appareils a dépassé le but à atteindre ; il épure bien l'acide carbonique, mais il altère au moins autant le pouvoir éclairant du gaz, et son procédé n'est pas encore arrivé à l'état pratique.

Il y arrivera d'ailleurs probablement, puisque la condition du succès qui lui est réservé consiste surtout dans une modération de son application.

AMMONIAQUE.

L'ammoniaque offre un double intérêt à l'élimination. En brûlant, elle donne naissance à de l'acide nitrique, et sa valeur suffit à couvrir les frais de son extraction.

Le gaz bien condensé en contient encore 5 grammes par mètre cube, quantité insuffisante pour saturer les acides qui l'accompagnent et dont une grande partie reste libre.

ACIDE SULFHYDRIQUE.

L'acide sulfhydrique est contenu dans le gaz à deux états. Un tiers environ est combiné à l'ammoniaque, et les deux autres tiers sont libres, ne trouvant pas l'ammoniaque nécessaire à leur saturation.

Quel que soit son état, l'acide sulfhydrique doit être éliminé complètement, et les procédés d'épuration dont on dispose permettent heureusement d'atteindre ce résultat de la manière la plus complète.

La proportion de soufre contenu dans le gaz non épuré, à l'état d'hydrogène sulfuré, est en moyenne de 8 à 10 grammes par mètre cube de gaz.

SULFURE DE CARBONE.

Le sulfure de carbone ne préexiste pas dans la houille. Il se forme au moment de la distillation.

Une distillation lente, à basse température, dans laquelle le gaz reste exposé longtemps à l'action de la chaleur dans une cornue rouge, produit du sulfure de carbone.

Au contraire, une distillation rapide, traitant beaucoup de charbon dans une même cornue et dans un temps très court, en produit peu. C'est l'allure suivie dans les usines de la Compagnie parisienne.

ÉPURATION.

Les procédés employés pour faire l'épuration du gaz ont peu varié depuis l'origine de cette fabrication, et cependant les résultats réalisés ont été bien différents suivant l'ordre introduit dans les opérations.

Dès l'origine on a fait usage de la chaux; en 1846, M. Laming a introduit l'emploi de la matière rouge, le sesquioxyde de fer; depuis, les usines de Londres ont dû revenir à l'usage de la chaux, en le complétant par celui de la matière rouge, et en le faisant précéder par l'action dissolvante de l'eau sur l'ammoniaque.

Nous ne nous arrêterons pas à l'examen des procédés incomplets maintenant abandonnés, nous étudierons d'abord le plus compliqué, celui qui est employé à Londres, et nous le comparerons ensuite à celui que pratique la Compagnie parisienne.

Non seulement la fabrication du gaz, à Londres, est tenue d'absorber complètement l'ammoniaque, mais encore elle ne doit pas laisser dans le gaz plus de 4 centigrammes de soufre par mètre cube, à quelque état que ce soit.

Cette prescription oblige les fabricants à condenser l'ammoniaque dans d'immenses colonnes de lavage, puis aussi à remettre en usage les cuves à chaux qui avaient été abandonnées.

En voici la raison :

Le sulfure de carbone ne peut être éliminé par aucune réaction chimique. Il ne peut être absorbé que par dissolution dans les sulfures par exemple. Ainsi l'on fait passer le gaz non épuré sur de la chaux; il y a formation de sulfure de calcium, lequel, à son tour, agit comme dissolvant du sulfure de carbone, et le retient de manière à n'en laisser que 30 à 40 centigrammes par mètre cube de gaz.

Cette opération n'arrête pas la totalité de l'hydrogène sulfuré, et il est nécessaire de la compléter par l'action du sesquioxyde de fer.

Ce procédé, si compliqué qu'il soit, laisse encore à désirer, et nous croyons pouvoir en discerner la cause. L'acide carbonique, quoique peu puissant, chasse de sa combinaison avec la chaux, l'acide sulfhydrique.

Il arrive donc nécessairement que la série des réactions sur lesquelles l'opération repose est troublée lorsque de l'acide carbonique, traversant de la chaux qui fonctionne depuis quelques instants, vient déplacer de l'acide sulfhydrique absorbé; le sulfure de carbone est remis en liberté [1].

Je désire vivement faire bien comprendre ce qui se passe ici, parce que je me permets de faire un reproche à une méthode pratiquée en Angleterre et qui semble avoir l'approbation d'hommes passant, à juste titre, pour des savants du plus haut mérite.

Considérons une cuve d'épuration contenant un épais lit de chaux : le gaz qui arrive par le bas est d'abord dépouillé de son acide sulfhydrique au contact de la chaux qui l'absorbe en se transformant elle-même en sulfure de calcium; celui-ci va pouvoir, à son tour, dissoudre le sulfure de carbone également contenu dans le gaz; l'absorption se fait ainsi de proche en proche en remontant. Mais la cuve va rester en service un cer-

[1] La solubilité du sulfure de carbone dans le sulfure de calcium est d'ailleurs très limitée. On en apprécie la mesure en renversant la question et en recherchant la solubilité du sulfure de calcium dans le sulfure de carbone. Après saturation, on ne retrouve, par l'évaporation, que des traces de sulfure de calcium.

tain temps, jusqu'à ce que la totalité de la chaux soit épuisée, par conséquent, l'acide carbonique qui arrive sans cesse va, par sa prédominance, chasser de leur place l'hydrogène sulfuré et le sulfure de carbone, de sorte que les réactions sur lesquelles on compte, et qui s'étaient produites au début, seront détruites, et le sulfure de carbone remis en liberté.

Il arrive donc, comme je viens de vous le dire, que la série des opérations sur lesquelles on comptait, et qui se sont produites de prime abord, sont détruites en définitive par suite des phénomènes qui se produisent dans la continuité du fonctionnement même de l'appareil.

A Paris, la Compagnie parisienne est obligée aux conditions que deux illustres savants, M. Dumas et M. Regnault, lui ont imposées. Elle y satisfait religieusement, et M. Leblanc, l'éminent chimiste chargé par la ville de Paris d'y veiller avec une vigilance facile à sa haute honorabilité, a souvent reconnu que le contrat était rigoureusement observé.

La Compagnie parisienne fait plus, elle absorbe l'ammoniaque par des cuves spéciales de lavage, n'en laissant dans le gaz que ce qui est utile aux opérations mêmes de l'épuration.

Qu'il nous soit permis, pour donner à notre affirmation tout le poids possible, de citer ici les termes mêmes dans lesquels M. Leblanc rend compte de la situation de la question à Paris.

Dans le bulletin d'avril 1878 publié par la Société d'encouragement, à la fin d'un exposé complet de la méthode expérimentale par laquelle le pouvoir éclairant du gaz et son épuration sont journellement contrôlés, M. Leblanc écrit ce passage, que nous nous faisons un devoir de citer complètement :

« Le traité, à Paris, n'oblige pas à doser le soufre qui serait, par « exemple, à l'état de sulfure de carbone et n'affecterait pas le papier d'a« cétate de plomb. Les houilles distillées à Paris sont moins pyriteuses que « les houilles anglaises; le sulfure de carbone mieux condensé, par l'épu« ration physique d'abord, finit par rester, en grande partie, dans les « caisses d'épuration, à l'état de sulfocyanure d'ammonium, ce que favo« rise l'état légèrement ammoniacal qui est toléré pour le gaz. Toujours « est-il que les chimistes de Londres qui sont venus à Paris pour examiner « le gaz, à ce point de vue, avec leurs appareils, ont trouvé la dose de « soufre inférieure à la limite de tolérance imposée à Londres par le traité, « et ont rendu compte du fait au comité du Parlement, devant lequel la « question du soufre dans le gaz a été agitée en 1877. »

Cette affirmation, si explicite et si intéressante pour les consommateurs et pour la Compagnie parisienne, est complétée par deux renvois si importants, que je ne crains pas de fatiguer votre bienveillante attention en vous en donnant lecture.

Le premier dit :

« MM. Vincent et Delachanal ont récemment démontré la présence du « sulfure de carbone en quantité notable dans les huiles légères, prove- « nant de la distillation fractionnée du goudron de houille. »

Puis :

« Plusieurs dosages de l'ammoniaque dans le gaz de Paris ne m'ont « pas indiqué plus de $0^{gr}\,0001$ par litre. Cette quantité doit se trouver « encore abaissée par l'emploi du condenseur mécanique de MM. Pelouze « et Audouin, qui fournit un goudron très ammoniacal. »

À Paris donc, la fabrication du gaz n'est tenue qu'à l'épuration du soufre pouvant être arrêté par l'action du sesquioxyde de fer qui forme la base de la matière rouge. Ce procédé est dû à M. Laming, et il jouit d'une remarquable efficacité. Tant que la matière étalée dans les cuves conserve une couche non altérée, si mince qu'elle soit d'ailleurs, l'hydrogène sulfuré est complètement absorbé.

J'ai mis sous vos yeux un vase dans lequel l'épuration a été faite à la manière des cuves, c'est-à-dire, par conséquent, avec le procédé suivi dans les usines de Paris.

La composition de la matière rouge est très simple; c'est du sesquioxyde de fer imprégnant de la sciure de bois.

On tire ce sesquioxyde du sulfate de fer par addition de chaux.

Ce n'est pas tout, la matière rouge transformée en sesquisulfure de fer étant exposée à l'air, en absorbe l'oxygène, dépose son soufre à l'état solide, et se reconstitue ainsi en réactif prêt à être employé de nouveau.

Si cette matière ne s'imprégnait pas de goudron, et si le soufre déposé n'atteignait pas une trop grande proportion, ce réactif aurait un usage indéfini.

GAZOMÈTRES.

Le gaz produit d'une manière continue est reçu dans de vastes magasins, pour être dépensé dans un petit nombre d'heures. Ces magasins portent le nom de gazomètres.

Permettez-moi d'appeler votre attention, Messieurs, sur le service utile que rendent ces appareils.

Ils assurent l'éclairage de la nuit en le mettant à l'abri de toutes les interruptions qui peuvent troubler la fabrication, et ils fournissent à l'éclairage par le gaz une certitude de fonctionnement que les autres modes d'éclairage peuvent justement lui envier.

ÉMISSION ET DISTRIBUTION.

Le gaz fabriqué et contenu dans ses magasins d'approvisionnement est livré à la consommation dans la mesure convenable suivant le jour et suivant l'heure de chaque jour.

La canalisation qui permet cette distribution est formée de tuyaux de diverses natures, dans lesquels le gaz atteint des vitesses qui ne dépassent pas 5 mètres par seconde.

À Paris, la longueur totale de ces tuyaux est de 1,772,351^{m},57, et le diamètre moyen de 148 millimètres.

Cette longueur est considérable, et nous croyons devoir en faire apprécier l'importance en faisant remarquer qu'elle est double de la distance qui existe entre Paris et Marseille (863 kilomètres).

APPLICATIONS.

L'éclairage est assurément l'application la plus importante que nous tirions du gaz de la houille.

Je n'entreprendrai pas de vous exposer les méthodes et les appareils qui sont employés, ce soin est réservé à un autre qui saura y trouver des motifs pleins d'attraits; je me bornerai à vous dire que le maximum d'effet utile n'est réalisable que dans les becs où le gaz est brûlé sous une très faible pression.

La mesure avec laquelle on titre la qualité du gaz, à Paris du moins, s'exprime ainsi :

Brûlés dans une heure, 105 litres de gaz au taux normal fournissent autant de lumière qu'une lampe Carcel brûlant 42 grammes d'huile.

CHAUFFAGE.

Les applications du gaz au chauffage sont aussi nombreuses que satisfaisantes.

Il se prête à la réalisation de toutes les solutions empruntées jusqu'ici à d'autres combustibles. C'est à son emploi qu'on doit la réalisation des plus hautes températures produites.

Son application aux usages domestiques a depuis longtemps fourni des solutions aussi pratiques qu'intéressantes.

L'économie d'argent due à ce combustible n'est pas le seul avantage qu'on en tire, l'économie de temps qu'il permet de réaliser est plus intéressante encore. Quand la famille de l'ouvrier, tout en s'éveillant de grand matin, n'a qu'un temps très court pour préparer son repas, le gaz lui fournit une solution rapide qu'aucun autre chauffage ne saurait lui procurer. On porte en effet un litre d'eau à l'ébullition en cinq minutes avec une consommation de gaz de quarante litres ne coûtant qu'un centime deux dixièmes.

Tout autre combustible ferait perdre plus de temps et coûterait certainement plus cher.

FORCE MOTRICE.

La combustion du gaz ne fournit pas seulement de la lumière, elle n'est pas seulement employée pour produire de la chaleur; elle permet aussi la création de forces motrices que l'industrie utilise avec un grand profit.

C'est à M. Lenoir qu'est due l'invention du premier moteur qui a fonctionné par explosion lente, résultant d'un mélange détonant fait dans le cylindre même, sans accumulation préalable et dangereuse de gaz mélangés.

D'autres constructeurs après lui ont aussi recueilli le travail produit par l'explosion du gaz à l'aide de procédés divers.

MM. Hugon, Otto et Langen ont produit des solutions qui montrent que la question peut en avoir un grand nombre; enfin M. Otto vient de faire faire un nouveau pas à la question.

Tous ces moteurs sont toujours prêts à fonctionner, suspendant complaisamment leur action au gré de celui qui les mène, sans lui imposer de perte ni de sujétion.

Ils peuvent d'ailleurs être établis à tous les étages d'une maison et transportés comme un meuble.

CONSIDÉRATION SUR L'AVENIR DE L'ÉCLAIRAGE AU GAZ.

Messieurs, permettez-moi, en finissant, de jeter un regard de curiosité sur l'avenir encore réservé au gaz.

L'éclairage est un besoin; l'éclairage au gaz est un moyen qui satisfait admirablement à ce besoin, son avenir est assuré et son développement ne faiblira pas.

Il satisfait aux conditions les plus impérieusement exigées par l'usage, il est toujours prêt, il est le moins cher de tous et le plus commode; son emploi ne sortira pas de nos habitudes.

Si l'on considère que la lampe des Égyptiens est restée la lampe de nos temps présents, comme le prouve cet échantillon emprunté au service municipal de la ville de Paris, ne différant en rien de la lampe en usage il y a trois mille ans, on est bien fondé à croire, c'est du moins notre avis personnel, que le bec de gaz qui nous éclaire aujourd'hui nous sera de plus en plus nécessaire.

Est-ce à dire que des ressources nouvelles ne viendront pas s'ajouter à celles que nous possédons déjà, comme le gaz est venu s'ajouter à l'huile? — Point du tout, et, tout en répondant à des exigences que le gaz ne satisfait peut-être pas, ces solutions ajouteront encore aux moyens que l'homme consacre à la satisfaction de ses goûts ou de ses besoins, sans jamais le lasser.

M. le Président. Vous venez d'entendre, Messieurs, la conférence éminemment distinguée, pleine de correction, d'élégance, de justesse, mêlée de considérations variées, souvent embellie par des distractions mettant en relief les moyens primitifs d'éclairage et le fonctionnement de cette immense industrie, aujourd'hui si puissante, de la fabrication du gaz.

Je crois être l'interprète des sentiments du bureau et de toute l'assemblée, en adressant à M. Arson nos remerciements et nos félicitations les plus sincères. (Applaudissements prolongés.)

CONFÉRENCE SUR L'ÉCLAIRAGE,

PAR M. SERVIER,

INGÉNIEUR CIVIL.

BUREAU DE LA CONFÉRENCE.

Président :

M. Clémandot, ingénieur civil.

Assesseurs :

MM. Luchaire, fabricant d'appareils d'éclairage;
Schlossmacher, fabricant d'appareils d'éclairage;
Armengaud jeune, ingénieur civil.

La séance est ouverte à 2 heures 5 minutes.

M. le Président. Messieurs, M. Servier, qui joint à la théorie la pratique la plus consommée, va vous entretenir des différents systèmes d'éclairage.

M. Servier. Mesdames et Messieurs, je suis appelé à l'honneur de vous entretenir des différents systèmes d'éclairage en usage, mais ce sujet est si vaste que je serai forcé de me tracer des limites, et je ne vous parlerai que de ceux qui sont les plus répandus, ou dont les progrès permettent de prévoir une application importante dans un avenir plus ou moins rapproché.

Lorsque le soleil descend sous l'horizon, ou, pour mieux dire, lorsque l'horizon monte sur le soleil, la lumière de la lune et des étoiles, même quand elle n'est pas éclipsée par les nuages, est insuffisante pour nous éclairer. Aussi le besoin d'une lumière artificielle s'est-il fait sentir dès les temps les plus reculés; mais il est difficile d'accorder le nom d'éclairage au système primitif des anciens, qui consistait en une mèche allumée trempant dans l'huile; la lampe antique fait plus d'honneur à leur génie artistique qu'à leurs connaissances scientifiques. Et d'ailleurs, à quoi

aurait servi l'éclairage à une époque où les travaux de la terre étaient presque les seuls en honneur, et où quelques hommes d'élite seulement s'adonnaient à la littérature, aux sciences et à quelques industries encore dans l'enfance? Lorsqu'un peuple avait besoin de produits qui lui manquaient ou qu'il ne fabriquait pas, il se ruait sur son voisin mieux partagé ou mieux outillé, et l'invasion remplaçait les traités de commerce. Ce procédé est presque abandonné aujourd'hui.

L'éclairage proprement dit ne date guère que d'un siècle, car c'est à la chimie que sont dus ses principaux perfectionnements et la chimie est contemporaine de la Révolution; mais la généralisation de l'éclairage ne date elle-même que de la création des chemins de fer qui ont rendu possible le transport économique et rapide des matières premières et des marchandises, et, par suite, la fondation, sur tout le territoire des peuples civilisés, d'industries de toute espèce, qui ont besoin de lumière pour prolonger la durée du travail et tirer parti d'un matériel créé à grands frais. Tous les progrès s'enchaînent, et l'éclairage, qui était à l'origine l'apanage de quelques hommes seulement, est devenu un besoin universel. Mais ce besoin se manifeste sous les formes les plus variées: les usages domestiques ou industriels, l'éclairage public, l'éclairage de luxe, celui des côtes, la défense des places, la navigation nocturne réclament des solutions diverses. Ce sont ces solutions dont je vais m'efforcer de vous donner un aperçu.

Toutes les lumières artificielles sont produites par un corps porté à une température élevée, et en général, lorsque la température d'un corps dépasse 500 degrés, il devient lumineux. L'illustre physicien Pouillet a cherché à évaluer les températures qui correspondent aux diverses apparences lumineuses, et il a obtenu les résultats suivants : Le rouge sombre correspond à 700 degrés centigrades; le rouge cerise, à 900; l'orange clair, à 1200; le blanc nuancé, à 1300; le blanc éblouissant, à 1500.

On peut donc dire que tous les moyens propres à dégager de la chaleur sont aptes à produire de la lumière, pourvu qu'ils atteignent les limites de température que je viens d'indiquer. Ainsi, le frottement, le choc et les actions chimiques sont des sources de lumière; mais tous ces moyens ne sont pas également économiques, et l'économie est une condition essentielle de tout éclairage pratique. Aussi la production artificielle de la lumière est-elle limitée uniquement aujourd'hui à l'action chimique connue sous le nom de combustion pour les lumières d'intensité moyenne, et à l'électricité pour les lumières de grande intensité.

Il est donc indispensable de dire quelques mots du phénomène de la combustion et je prendrai pour exemple la chandelle, qui est le type le plus ancien des éclairages perfectionnés, et qui, malgré ses défauts, résume toutes les opérations qui s'exécutent dans la fabrication du gaz,

dont vous avez été entretenus dans une précédente conférence, ainsi que tous les phénomènes de la production d'une flamme éclairante.

La chandelle est, comme vous le savez, composée d'une mèche de coton centrale, entourée d'un mélange de graisse de mouton et de graisse de bœuf; cette dernière seule est trop molle et trop fusible, et les chandelles qu'on en préparerait couleraient trop facilement. Si vous examinez avec attention la flamme d'une chandelle, vous y verrez aisément deux parties bien distinctes, l'une obscure au centre de la flamme, et l'autre lumineuse à la surface. Voici l'explication du phénomène qui se passe : la mèche centrale sert à faire monter par la capillarité le suif fondu; celui-ci est vaporisé, puis décomposé par la chaleur de la flamme et cette vapeur forme la partie obscure; mais arrivée au contact de l'air, elle s'enflamme, et se décompose en hydrogène et en noir de fumée, c'est-à-dire en charbon à l'état de division extrême, qui est porté à une température élevée qui le rend incandescent, et elle se consume en produisant de l'acide carbonique et de l'eau. La chaleur développée par la combustion fait fondre une nouvelle couche de suif, qui se trouve retenue dans une sorte de godet naturellement formé par le refroidissement extérieur du courant d'air qui s'élève le long de la chandelle. Une chandelle est donc une véritable petite usine à gaz, où la distillation, la production et la combustion du gaz s'opèrent d'une manière simultanée et continue. Malheureusement l'opération ne se passe bien régulièrement qu'à la condition que la chandelle brûle dans un air parfaitement calme; sans quoi, le suif coule le long de la chandelle et la lumière produite est accompagnée d'une fumée répandant une odeur désagréable. En outre, la mèche qui sert à l'ascension du suif fondu ne se consume pas et s'allonge dans la flamme, et il est nécessaire de la couper de temps à autre.

Ces inconvénients ont été en partie supprimés par l'invention des bougies stéariques, qui est due aux célèbres chimistes Gay-Lussac et Chevreul. Les graisses de tous les animaux et même les huiles végétales sont composées des mêmes éléments, et elles ne diffèrent entre elles que par la proportion de ces éléments : deux, solides, qu'on appelle la stéarine et la margarine, et un, liquide ou huileux, qu'on appelle l'oléine. Pour extraire l'acide stéarique de ces graisses, on commence par les saponifier; cette opération consiste à combiner les acides gras contenus dans le suif avec de la chaux et à éliminer la glycérine. On forme ainsi un véritable savon de chaux qu'on décompose par l'acide sulfurique étendu; on lave les acides stéarique, margarique et oléique rendus libres, et on les sépare par des pressages à froid et à chaud.

L'acide stéarique ainsi obtenu fond moins facilement que le suif et sert à faire les bougies que vous connaissez tous, et qui ne coulent pas comme la chandelle. La fabrication de l'acide stéarique s'opère aujourd'hui par

des procédés tout différents et très perfectionnés, mais leur description m'éloignerait de mon sujet.

Il est important de vous signaler une particularité dans la construction des bougies, destinée à obvier à l'inconvénient de l'allongement de la mèche dans l'intérieur de la flamme. La mèche des bougies est tressée de manière à se recourber en se charbonnant, et à présenter son extrémité à la surface de la flamme; il en résulte que cette extrémité se consume spontanément au contact de l'air et n'a pas besoin d'être coupée.

Il y a un fait sur lequel j'appellerai toute votre attention, parce qu'il se reproduit dans tous les systèmes d'éclairage. Voici deux bougies, donnant chacune une certaine intensité de lumière; si je rapproche les flammes de ces deux bougies de manière qu'elles se confondent, la lumière produite sera plus grande que la somme des deux lumières. Cela tient à ce que la température de la flamme se trouve augmentée, parce que le refroidissement de l'air extérieur a moins d'action sur elle. C'est une loi générale que plus une flamme est intense, et plus elle a de puissance lumineuse; et si l'on divise cette flamme en plusieurs parties, la somme des puissances lumineuses sera inférieure à la puissance lumineuse de la flamme unique, et d'autant plus que les parties seront plus petites. Nous verrons que cette loi existe, non seulement pour les flammes, mais aussi pour la lumière électrique, dont je vous entretiendrai tout à l'heure.

Parmi les autres substances solides servant à l'éclairage, je ne citerai que pour mémoire la cire des abeilles dont l'emploi se borne aujourd'hui à la fabrication des cierges; le blanc de baleine ou spermaceti, qui est extrait des cellules qui enveloppent le cerveau des grands cétacés, et enfin la paraffine qu'on retire des goudrons de bois et de tourbes, des huiles de schiste brutes, et avec laquelle on fait de belles bougies transparentes.

Je passerai maintenant à l'éclairage par les huiles végétales, qui exige l'emploi de lampes. — Une lampe est un réservoir destiné à alimenter une mèche de coton ou de fil, à l'extrémité de laquelle se produit la flamme éclairante. Le plus grand progrès réalisé dans la construction des lampes est dû à Argand, dont l'admirable invention date de quelques années avant 1789. La lampe d'Argand consiste en deux pièces principales : un réservoir à niveau constant et un bec. La première a été très perfectionnée et n'est plus employée sous la forme que lui avait donnée Argand, et qu'un de ses ouvriers, nommé Quinquet, s'était appropriée. Le bec seul est intéressant à étudier, parce qu'il est appliqué aujourd'hui dans tous les éclairages à l'huile et au gaz. Ce bec est formé de deux anneaux cylindriques et concentriques, entre lesquels se meut la mèche, dirigée par un petit porte-mèche à crémaillère. La mèche, qui elle-même est cylindrique, sort à la partie supérieure de cet espace annulaire, où

elle est baignée par l'huile que l'on allume à son extrémité. L'air afflue autour et au milieu de la flamme, et, au moyen d'une cheminée en verre, destinée à activer le tirage, on obtient une flamme brillante et sans fumée. Cette cheminée elle-même peut se mouvoir de haut en bas de manière à graduer le tirage. Cela permet de faire brûler la mèche à blanc, l'air qui afflue au-dessous refroidissant l'huile et empêchant la mèche de se charbonner.

Le réservoir d'huile d'Argand était latéral. On doit à Carcel un perfectionnement considérable, qui consiste à mettre le réservoir d'huile à la partie inférieure et à construire la lampe verticale comme une chandelle; elle ne donne donc de l'ombre autour d'elle par aucune de ses parties accessoires. Cette disposition nécessite l'élévation de l'huile jusqu'au niveau de la mèche, ce qui a lieu au moyen de petites pompes mues par un mouvement d'horlogerie.

Malheureusement ces lampes sont d'un prix assez élevé; le mouvement d'horlogerie est sujet à se déranger et à s'encrasser, lorsqu'on ne se sert pas de la lampe tous les jours. Aussi la lampe Carcel est-elle remplacée avec avantage par la lampe modérateur, inventée par M. Franchot en 1836 et dont la simplicité a fait le grand succès. Une grande capacité cylindrique, ménagée dans le pied de la lampe, sert de réservoir d'huile. L'ascension du liquide au bec est déterminée par un piston pressé par un ressort à boudin à spires inégales, afin qu'il puisse, lorsqu'il est à fond, tenir dans un espace très restreint. Le piston est garni d'un cuir embouti dont le rebord s'applique contre la paroi cylindrique du réservoir par la pression de l'huile. Lorsqu'on remonte le piston, au moyen d'une clef fixe agissant sur une crémaillère fixée au piston, le rebord du cuir embouti laisse passer l'huile sous le piston; mais cette huile ne peut remonter par dessus. Le piston est percé à son centre d'un trou auquel est adaptée une tige cylindrique creuse, dans l'axe de laquelle est engagé un fil métallique terminé inférieurement par une pointe conique, et fixe à la partie supérieure de la lampe. L'huile pressée par le piston monte jusqu'au porte-mèche par la tige cylindrique creuse dont la section se trouve rétrécie par l'enfoncement du fil métallique dans cette tige. À mesure que l'huile est consumée, le piston s'abaisse, le ressort à boudin se détend et s'allonge, et la pression qu'il exerce diminue. Mais en même temps le fil métallique se dégage de plus en plus de l'intérieur de la tige creuse du piston. Plus le trajet que l'huile doit parcourir est long, et plus la portion retrécie du conduit diminue de longueur.

On comprend dès lors qu'avec des proportions convenablement déterminées, l'huile afflue à la mèche avec une grande régularité, quelle que soit la position du piston.

La construction de ces lampes est arrivée à une grande perfection et

elles fonctionnent aussi régulièrement que les lampes à mécanisme de Carcel.

Je parlerai maintenant de l'éclairage aux huiles minérales ou hydrocarbures liquides. Ces huiles, qui se rencontrent dans la nature en quantités considérables, peuvent être obtenues à un prix bien inférieur à celui des huiles extraites des graines des plantes. On désigne sous la dénomination générale d'huiles minérales, les pétroles, les huiles de naphte, de schiste, de goudron, etc. etc.

Ces substances sont tellement riches en carbone qu'elles ne peuvent être brûlées dans les mêmes conditions que les huiles végétales; la flamme serait fuligineuse et répandrait une mauvaise odeur.

Il existe différents moyens d'obvier à ces inconvénients. Le premier consiste à faire arriver dans la flamme, produite par la combustion, une quantité d'air suffisante pour que le carbone ne puisse pas se déposer sous forme de noir de fumée; les deux solutions principales de ce moyen sont: les appareils à carburer l'air, et la lampe à courant d'air forcé de M. Donny, mais on comprend que ces systèmes, exigeant l'emploi d'un appareil de compression de l'air, soient rarement applicables dans la pratique.

La carburation de l'air exige d'ailleurs l'emploi d'essences minérales très légères, c'est-à-dire ayant une tension de vapeur très forte à la température ordinaire, et qu'on extrait des huiles minérales brutes par la distillation. Ces essences sont éminemment inflammables, et demandent par conséquent à être employées avec les plus grandes précautions.

La lampe Donny, au contraire, brûle toute espèce d'huiles lourdes, mais n'est susceptible d'être appliquée que dans des chantiers, à cause du bruit produit par l'injection de l'air forcé.

Les lampes pour la combustion de l'huile de schiste et du pétrole diffèrent de celles qu'on emploie pour les huiles végétales, en ce que la mèche sert uniquement à aspirer le liquide par capillarité, à le diviser et à augmenter sa surface de contact avec l'air, mais sans arriver jusqu'à la flamme, parce que la chaleur engendrerait une quantité de vapeur trop considérable.

Pour éviter une volatilisation trop rapide, on refroidit en outre le brûleur au moyen du courant d'air appelé par la combustion; ce courant d'air doit être beaucoup plus actif que pour les huiles grasses.

Les dispositions qui ont le mieux réussi pour la combustion de l'huile de schiste sont au nombre de deux pour les lampes à mèche circulaire. La première consiste à placer, un peu au-dessus du bas de la flamme et dans son intérieur, un disque en métal d'un diamètre un peu plus grand que le diamètre intérieur du bec; ce disque est nécessairement porté à une température élevée et le courant d'air se brise sur ses bords et brûle le

carbone qui a pu échapper à la combustion. — La seconde disposition consiste à donner au verre un étranglement qui force l'air à affluer sur la flamme de manière à rendre la combustion très vive.

Pour le pétrole, on emploie le plus souvent la lampe à mèche plate, qui porte, entre le verre et le bec, un capuchon en métal qui renvoie sur la flamme, qui se produit à la fente supérieure, le courant d'air extérieur qui pénètre par les trous placés au bas du bec.

Les lampes ont une forme peu gracieuse, résultant de la hauteur assez faible à laquelle la capillarité de la mèche peut élever le liquide, et de la nécessité de donner au réservoir d huile un assez grand diamètre pour éviter de trop grandes variations de niveau pendant la durée de la combustion.

On fait également pour le pétrole des lampes à mèche circulaire, dans lesquelles on est arrivé à régler les courants d'air avec une grande perfection, de telle sorte qu'elles brûlent sans fumée ni odeur. Elles sont vendues à des prix excessivement bas, ce qui n'a pas peu contribué au développement de l'éclairage au pétrole.

Je dois appeler votre attention sur un point très important dans l'emploi du pétrole. Le pétrole brut contient des essences très légères, c'est-à-dire volatiles à la température ordinaire, et si on l'employait à cet état, on s'exposerait à des explosions de lampes, comme celles qui ont marqué d'une manière si fâcheuse les premières années de l'usage du pétrole. Aussi le pétrole doit-il être rectifié, c'est-à-dire débarrassé de ces essences légères par une distillation, et l'on ne doit livrer au commerce que du pétrole s'enflammant seulement à une température de 35 degrés centigrades. Pour s'assurer que le pétrole remplit ces conditions, on se sert d'un petit appareil d'essai, qui se compose essentiellement d'une petite capsule dans laquelle on verse un échantillon du pétrole, dans lequel plonge un thermomètre; un petit bec brûle au-dessus du liquide. On chauffe ce dernier, et lorsque sa vapeur prend feu au contact du bec allumé, on observe la température du liquide.

Je dirai encore quelques mots d'un autre système propre à faire brûler les hydrocarbures liquides, et qui consiste à mélanger à ces huiles essentielles trop carburées un liquide qui l'est peu, tel que l'alcool, l'esprit de bois, ou l'éther. Ce système porte les différents noms de gaz liquide, d'hydrogène liquide, ou gazogène. Pour que le mélange s'opère, il est indispensable que l'alcool soit presque absolu et que l'essence soit anhydre et ait été rectifiée sur de la chaux.

Gaz. — Je suis obligé de passer sous silence bien des systèmes d'éclairage aux hydrocarbures liquides pour ne pas abuser de votre patience, et j'arrive à l'éclairage par le gaz de houille, dont la fabrication vous a été décrite avec une grande autorité dans une précédente conférence par M. Arson.

Je ne parlerai donc que de son emploi, et je dirai seulement que le gaz extrait de la houille serait inutilisable comme éclairage, si l'on n'était arrivé à l'épurer des matières nuisibles qu'il contient à l'état brut. Le gaz pur, au contraire, qui est livré par les usines à gaz bien construites et bien dirigées, ne produit par la combustion que de l'eau et de l'acide carbonique, c'est-à-dire les mêmes produits que la respiration humaine. Il développe également de la chaleur, comme nous en développons nous-mêmes en respirant; lorsqu'on est incommodé par cette chaleur, cela tient à ce que le renouvellement de l'air, dans la pièce éclairée, n'est pas suffisant, et qu'on ne tient pas compte de ce que le bec de gaz, tout en occupant très-peu de place, absorbe autant d'oxygène, produit autant de chaleur, de vapeur d'eau et d'acide carbonique qu'un être animé. Ainsi, dans cette salle où la température est déjà très élevée par suite du nombre de personnes qui y sont rassemblées, il est évident que si l'on allumait une centaine de becs de gaz, qui seraient nécessaires pour l'éclairer dans la soirée, cela produirait le même effet que si l'on introduisait encore cent ou deux cents personnes. Il ne faut donc pas reprocher au gaz la chaleur qu'il développe, mais aux architectes de ne pas ventiler suffisamment les locaux éclairés dans lesquels se réunissent un grand nombre de personnes.

Les usines à gaz sont arrivées à livrer non seulement du gaz parfaitement épuré, mais encore d'un pouvoir éclairant déterminé et constant, de telle sorte que l'on sait qu'en achetant un mètre cube de gaz, par exemple, il y a dans ce mètre cube une quantité de lumière bien déterminée.

À Paris et dans la plupart des villes de France, le pouvoir éclairant du gaz est tel que 105 litres, brûlant dans un bec *défini*, donnent autant de lumière que 42 grammes d'huile de colza brûlant dans une lampe Carcel aussi *définie*.

J'insiste sur le mot *défini* parce qu'il y a une erreur assez accréditée qui consiste à croire que le gaz ainsi désigné n'est susceptible de donner que le pouvoir éclairant de 105 litres équivalant à 42 grammes d'huile. Le pouvoir éclairant du gaz n'est pas une chose absolue, pas plus d'ailleurs que le pouvoir éclairant des autres systèmes d'éclairage; il dépend essentiellement des conditions dans lesquelles le gaz est brûlé.

Ainsi ce même gaz, qui donne une quantité de lumière équivalente à 42 grammes d'huile brûlant dans une lampe Carcel définie, lorsqu'il brûle dans un certain bec également défini, peut donner beaucoup moins ou beaucoup plus de lumière en brûlant dans d'autres becs et dans d'autres conditions. C'est là un point très important sur lequel j'attire toute votre attention.

Cela m'amène à vous indiquer les conditions dans lesquelles le gaz doit brûler pour obtenir le maximum de pouvoir éclairant. Un bec de gaz se

compose, d'une manière générale, d'un orifice par lequel le gaz enflammé s'échappe sous l'action de l'excès de pression qui existe dans la conduite. La vitesse avec laquelle le gaz sort de ce bec dépend, d'une part, de cet excès de pression, et, d'autre part, de la section de l'orifice. Or, si cette vitesse est petite, le gaz ne brûle qu'à la surface de la flamme, la décomposition s'effectuant dans le centre comme nous l'avons vu en examinant la combustion d'une chandelle. Si, au contraire, la vitesse est grande, le gaz se mélange à l'air atmosphérique et brûle en même temps dans toutes ses parties; la décomposition ne se fait pas graduellement, et le carbone ne se déposant pas à l'état solide dans la flamme, le gaz brûle avec une flamme bleue non éclairante.

Une même quantité de gaz brûlant dans des becs de différentes sections donnera donc des quantités de lumière différentes et variant depuis zéro jusqu'à un certain maximum. Inversement, un bec de dimensions déterminées peut brûler des quantités de gaz très variables, suivant l'excès de pression qui produit l'écoulement, et le maximum d'effet utile de ce bec correspond à une certaine quantité de gaz déterminée; ce maximum est toujours obtenu avec l'excès de pression le plus faible, c'est-à-dire avec la vitesse d'écoulement la moins considérable.

L'intensité de la lumière produite par le gaz suit aussi la loi générale que j'ai indiquée pour les autres lumières, c'est-à-dire que cette intensité est d'autant plus grande, par unité de volume dépensé, que la consommation du bec est plus forte. Ainsi, tandis que le bec-type, adopté pour les essais de pouvoir éclairant de la ville de Paris, et qui brûle 105 litres à l'heure, donne une lumière équivalente à une Carcel de 42 grammes, ce qui correspond à un mètre cube de gaz pour 400 grammes d'huile, voici un bec qui brûle 900 litres de gaz à l'heure et dont la lumière équivaut à 15 lampes Carcel, ce qui correspond à un mètre cube de gaz pour 700 grammes d'huile. Ainsi la même quantité de gaz donne, dans un cas, la même lumière que 700 grammes d'huile et, dans l'autre, elle donne seulement la même lumière que 400 grammes d'huile. Je regrette de ne pouvoir faire brûler devant vous ce bec qui donne une lumière magnifique et qui offre un grand intérêt aujourd'hui, où l'on paraît rechercher des becs d'une grande intensité. Vous pourrez d'ailleurs le voir fonctionner à l'Exposition, dans la vitrine de M. Sugg, constructeur anglais, dans la galerie attenante à la grande galerie des machines.

Je ne vous décrirai pas tous les systèmes de becs en usage, parce que je désire appeler votre attention sur des points plus intéressants.

J'ai dit que la consommation de chaque bec doit être réglée à un certain taux pour obtenir le maximum de pouvoir éclairant du gaz. Mais comme un bec peut consommer des quantités de gaz très variables, suivant la pression sous laquelle le gaz s'écoule, c'est-à-dire suivant qu'on ouvre

plus ou moins le robinet, il est très important de pouvoir régler cette consommation. À cet effet, on se sert d'appareils qu'on nomme des régulateurs, dont l'usage serait certainement général, si les consommateurs avaient connaissance des quelques faits que je viens d'exposer. Ces appareils permettent, en effet, d'obtenir une dépense constante dans un bec, quelle que soit la pression qui existe dans la conduite; on peut donc employer des becs à large section, qui donnent le maximum d'effet utile, sans être exposé à consommer une trop grande quantité de gaz et à voir *filer* les becs à verre. Les types de régulateurs les plus employés sont: le régulateur sec à diaphragme, le régulateur humide ou rhéomètre de M. Giroud et le régulateur sec de M. Bablon, dont je vous présente des spécimens.

Le régulateur sec à diaphragme se compose d'une boîte séparée en deux par un diaphragme en étoffe imperméable; la partie inférieure de cette boîte est en communication avec la canalisation du gaz; la partie supérieure porte le bec. Le gaz passe de la partie inférieure à la partie supérieure par un petit canal latéral, mais sa pression agit en même temps sur le diaphragme, qu'elle soulève; ce diaphragme porte à son centre un petit cône qui obstrue plus ou moins l'issue du gaz suivant que la pression est plus ou moins forte. En donnant au diaphragme un poids convenable, on détermine une certaine consommation du bec qui ne variera plus, quelle que soit la pression d'entrée au régulateur.

Le rhéomètre de M. Giroud se compose également d'une boîte formant une capacité annulaire dans laquelle on met un liquide (de la glycérine, par exemple). Une petite cloche vient se poser dans la boîte, et le liquide forme une fermeture hydraulique; la cloche est percée à sa partie supérieure d'un petit trou calibré, et surmontée d'un petit cône qui, par le mouvement de la cloche, peut obstruer plus ou moins la sortie du gaz qui a lieu au centre du couvercle qui supporte le bec. Le gaz arrive sous la cloche à une pression quelconque; il passe par le petit trou calibré et de là au bec, mais en même temps il soulève la cloche d'autant plus que la pression est plus élevée, et le cône qui la surmonte ferme plus ou moins la sortie du gaz. Le poids de la cloche et la grandeur de l'orifice calibré sont calculés de manière à obtenir une consommation déterminée.

Dans le régulateur sec de M. Bablon, c'est un petit disque en métal qui peut monter et descendre dans la petite boîte, et le gaz se rend de l'entrée à la sortie par un petit tube central, ouvert latéralement par en bas et au centre à la partie supérieure. La pression, en soulevant le petit disque mobile, ferme aussi plus ou moins l'orifice d'échappement du gaz.

Il existe également des régulateurs qui agissent simultanément sur un grand nombre de becs à la fois; ils sont construits sur les mêmes principes.

Nous avons vu qu'un mètre cube de gaz produit une quantité de lumière

parfaitement déterminée, quoique variable suivant la nature des becs employés. Il en résulte que le gaz se vend au volume ou au mètre cube, qui contient 1,000 litres.

Compteurs. — Pour mesurer le gaz on se sert d'un compteur; la partie essentielle de cet instrument est une capacité fixe qui se remplit et se vide alternativement, et ces alternatives sont indiquées par un système d'engrenages qui permet de lire sur des cadrans la quantité de gaz qui est passée. Le compteur généralement en usage est dû à Clegg et a été perfectionné par Crosley, deux ingénieurs anglais dont les travaux ont contribué, dans une large mesure, à la propagation de l'éclairage au gaz.

La partie mesurante du compteur, qu'on nomme tambour ou volant, peut être comparée à une vis d'Archimède couchée horizontalement et immergée dans l'eau en partie. Le gaz circule d'une extrémité à l'autre de cette vis, en faisant tourner le volant autour de son axe, et ce sont les révolutions de ce volant, dont la capacité mésurante est déterminée par le niveau de l'eau dans la caisse, qui sont enregistrées sur les cadrans et indiquent le volume de gaz qui est passé dans le compteur.

On voit que, puisque c'est le niveau de l'eau dans le compteur qui détermine la capacité mesurante, il est nécessaire que ce niveau ne puisse être altéré, soit par le vendeur, soit par l'acheteur. Si, en effet, on pouvait élever le niveau de l'eau, la capacité mesurante serait réduite, et pour un même nombre de tours de volant, on mesurerait une trop petite quantité de gaz; le compteur compterait trop de gaz. Si, au contraire, on abaissait le niveau de l'eau, la capacité mesurante serait augmentée et le compteur accuserait une quantité trop faible; si même on enlevait une quantité d'eau suffisante, le gaz passerait directement de l'entrée à la sortie sans faire tourner le volant, et le compteur n'accuserait plus aucune quantité de gaz consommé. C'est pour éviter toutes ces circonstances que le compteur est muni des organes que je vais vous indiquer. Le compteur ne présente que trois orifices à la disposition de la Compagnie ou de l'abonné: le premier est la vis d'introduction de l'eau; le second, la vis de niveau, et le troisième, la vis du siphon. Pour niveler un compteur, c'est-à-dire pour mettre l'eau au niveau normal, après avoir isolé le compteur en fermant le robinet du gaz, on enlève ces trois vis et l'on verse de l'eau par l'orifice d'introduction, jusqu'à ce qu'elle s'écoule par la vis de niveau et que cet écoulement cesse, puis on replace les trois vis. Si l'on mettait trop d'eau, elle s'introduirait dans le siphon dont l'une des extrémités débouche un peu au-dessus du niveau normal; et comme le gaz arrive dans le compteur par cette pièce, la communication serait interceptée et le gaz ne passerait plus. Si, au contraire, l'eau venait à manquer, par suite de l'évaporation ou pour toute autre cause, le flotteur, qui supporte la soupape par laquelle le gaz doit également passer pour entrer dans le compteur,

descendrait avec le niveau de l'eau, et poserait la soupape sur son siège ; le passage du gaz serait encore intercepté. Le niveau de l'eau ne peut donc varier que dans les limites qu'on lui assigne par la position du siphon et de la soupape du flotteur, et ces limites sont de 1 p. o/o au-dessus et au-dessous.

Il y a encore une autre pièce très importante qui est le cliquet, qui empêche le volant de tourner au rebours. On comprend, en effet, que si l'on insufflait de l'air par un bec au moyen d'un soufflet, le volant du compteur tournerait en sens contraire, et un abonné peu scrupuleux (il y en a, malheureusement!) pourrait faire décompter le compteur dans la journée d'une quantité égale ou inférieure à la quantité de gaz qu'il aurait consommée la veille. Le cliquet est destiné à empêcher cette fraude.

Plusieurs heures me seraient nécessaires pour vous décrire les principaux perfectionnements apportés dans la construction des compteurs, et destinés à en assurer l'exactitude et à les mettre à l'abri des fraudes des consommateurs. Je me bornerai à vous indiquer les moyens principaux qui ont été imaginés pour maintenir le niveau du compteur constant pendant un temps assez long, afin d'opérer son nivellement le moins souvent possible, car le gaz en passant dans le compteur entraîne toujours une certaine quantité d'eau par l'évaporation, à moins que le compteur ne soit placé dans un endroit plus froid que le gaz qui vient des conduites extérieures, auquel cas le gaz dépose au contraire de l'humidité; mais ce cas est très rare.

Les principaux moyens employés pour remédier à l'évaporation de l'eau sont au nombre de trois, comme principes, car l'exécution de ces principes a reçu des solutions très variées.

Le premier consiste à amener dans la boîte du compteur, d'une manière continue, une petite quantité d'eau puisée dans un réservoir indépendant de la capacité mesurante, et dont l'excédent retourne dans ce réservoir. Cette opération, on le comprend, est exécutée par la rotation même du volant. Je crois que la première application de ce principe est due à M. Scholefield, le prédécesseur de M. Brunt, aujourd'hui remplacé par la Compagnie continentale des compteurs à gaz.

Le second principe, dû à M. Rouget, consiste à faire prendre au gaz, dans une capacité antérieure à la chambre de mesurage, et qu'on pourrait appeler une antichambre, la quantité d'humidité qu'il serait capable d'absorber dans le compteur lui-même.

Le troisième principe, imaginé par MM. Warner et Cowen, et auquel MM. Siry Lizars ont trouvé une solution très ingénieuse, consiste à envoyer, dans le compartiment du volant qui reçoit le gaz, tout l'excédent de gaz du compartiment qui dépense et qui n'a pas été mesuré. Voici le volant de ce compteur, mais il me serait impossible d'en faire comprendre

la construction à une réunion aussi grande, et je suis à la disposition des personnes que cela intéresserait pour leur donner des explications à la fin de la séance.

Je ne m'arrêterai pas plus longtemps sur la construction du compteur, qui est cependant un des instruments les plus ingénieux qui existent dans l'industrie du gaz et sans lequel la consommation du gaz serait certainenement très limitée, car il est impossible de vendre une marchandise sans la mesurer, et c'est peut-être là une des principales pierres d'achoppement de l'éclairage électrique, dont je parlerai tout à l'heure.

Gaz portatif. — Le gaz portatif est un gaz riche, produit par la distillation des schistes bitumineux ou du boghead; il se fabrique comme le gaz de houille, mais n'est pas distribué au moyen d'une canalisation; on le comprime dans des cylindres en tôle qui sont transportés au moyen de voitures, et dont on déverse une partie du contenu dans d'autres cylindres placés chez le consommateur. Ce mode d'éclairage est, en général, le précurseur du gaz courant dans les localités qui n'ont pas encore assez d'importance pour motiver la dépense d'une canalisation, et qui cependant ont des établissements assez considérables pour permettre une installation de gaz.

Éclairage de luxe. — Je dirai quelques mots seulement de certains systèmes d'éclairage de luxe, employés à peu près exclusivement dans les théâtres: ce sont la lumière Drummond, le gaz carburé, l'éclairage oxyhydrique et l'éclairage au magnésium.

La lumière Drummond est produite par l'incandescence d'un morceau de craie, porté à une température très élevée au moyen d'un jet d'hydrogène et d'oxygène; le gaz carburé est du gaz enrichi au moyen d'essences minérales; l'éclairage oxyhydrique, qui a beaucoup fait parler de lui dans les dernières années de l'Empire, est produit par la combustion du gaz ordinaire ou du gaz riche au moyen de l'oxygène au lieu d'air; la température produite étant plus élevée qu'avec l'air, la puissance lumineuse du gaz est plus considérable; malheureusement ce système revient à un prix plus élevé que la quantité de gaz nécessaire pour produire le même résultat; enfin l'éclairage au magnésium est produit par la combustion d'un ruban de magnésium qui se déroule progressivement au moyen d'un mouvement d'horlogerie.

Tous ces éclairages sont, en général, employés à illuminer les dieux et les déesses de l'Olympe... dans les théâtres et les concerts; on produit, avec leur secours, de très beaux effets à la scène; vous pouvez voir des spécimens d'éclairage au gaz carburé sur les scènes des cafés-concerts des Champs-Élysées, et la lumière Drummond et l'éclairage oxyhydrique sont très employés dans les théâtres pour les féeries et les ballets.

Quant à l'éclairage au magnésium, la facilité de son emploi et la

qualité photogénique de sa lumière le font utiliser dans la photographie [1].

Allumettes. — Tous les systèmes d'éclairage, dont je viens d'avoir l'honneur de vous entretenir, ont besoin, pour être mis en activité, d'une flamme qui commence l'ignition de la matière combustible. Cela m'amène à vous parler des allumettes et de quelques autres moyens d'allumage moins connus.

La question des allumettes serait peut-être un peu délicate à traiter dans notre pays, où elles sont l'objet d'un monopole, et servent, comme les tabacs, à percevoir des impôts indirects s'élevant à une somme considérable. Mais je ne sortirai pas de mon sujet en indiquant les conditions auxquelles doivent satisfaire de bonnes allumettes, et quelles sont celles qui les remplissent. La plus essentielle est évidemment de s'enflammer facilement, et cela pourrait passer pour une vérité de M. de la Palice si je n'ajoutais immédiatement que cette inflammation ne doit avoir lieu que lorsqu'on le désire; car, si un léger frottement ou une petite augmentation de température est susceptible d'enflammer une allumette, celle-ci devient une cause d'incendie excessivement dangereuse.

Une bonne allumette doit encore, en brûlant, répandre le moins de fumée et d'odeur possible, résister aux courants d'air, et cependant s'éteindre complètement lorsqu'on la souffle. Enfin, elle doit encore être inoffensive, c'est-à-dire ne pas empoisonner les personnes qui seraient tentées d'en avaler, ce qui n'est pas rare chez les enfants; quant aux grandes personnes, elles sont assez raisonnables pour éviter cet accident, mais on en cite cependant qui les font manger aux autres.

La fabrication des allumettes n'est donc pas aussi simple qu'elle peut le paraître tout d'abord, et si j'ajoute que tout le monde, quelque misérable qu'il soit, consomme des allumettes, on comprendra que cette industrie soit des plus considérables.

En France, comme je l'ai dit tout à l'heure, l'allumette est plus un moyen d'impôt qu'un système d'allumage; c'est un des résultats de nos malheurs publics. Aussi les allumettes sont-elles fort chères; il en résulte que le public recherche moins les qualités que j'ai énumérées plus haut que le bon marché relatif, et, comme ce sont les allumettes les moins bonnes qui se vendent naturellement le moins cher, ce sont aussi celles-là qui se vendent le plus. En outre, la Compagnie générale des allumettes, par suite d'un traité de commerce antérieur à son monopole, et dont elle

[1] L'éclat d'un fil de magnésium, sans réflecteur, équivaut à 75 ou 80 bougies stéariques de 10 au kilogramme. Le spectre de la lumière au magnésium est continu et cette lumière est la plus favorable à la photographie. Le magnésium en rubans brûle avec une vitesse de 63 centimètres à la minute. La dépense est d'environ 8 à 10 francs par heure et par bec. La lumière n'a pas de portée. L'inventeur est M. Salomon, de Londres.

a dû subir les conséquences, n'a pas le droit de fabriquer les allumettes amorphes et paraffinées. Elle est obligée d'en acheter chaque année un chiffre de 7 millions à la Suède et à la Norwége, et, comme le tarif qui lui est imposé par l'Administration porte le prix de ces allumettes à un taux beaucoup plus élevé que celui des allumettes ordinaires, il en résulte qu'elle conserve en magasin une grande partie des allumettes perfectionnées. Il n'y a donc guère que les allumettes ordinaires qui se vendent en France, et comme leur fabrication est très simple et n'exige qu'un matériel peu dispendieux, il s'en fabrique frauduleusement une grande quantité, sans compter celles qui sont introduites clandestinement en France par la contrebande. C'est là le résultat inévitable d'un droit disproportionné à la valeur intrinsèque de la marchandise.

L'allumette ordinaire se compose d'un morceau de bois soufré à son extrémité et recouvert d'une petite boule de pâte de phosphore, préservée elle-même du contact de l'air par un léger vernis. En frottant cette extrémité phosphorée contre une surface rugueuse, on développe une quantité de chaleur suffisante pour enflammer le phosphore qui lui-même enflamme le soufre, et la combustion se communique au bois. Cette espèce d'allumettes a plusieurs inconvénients : elle peut s'enflammer par un frottement accidentel, elle répand en s'allumant une odeur désagréable d'acide phosphorique et d'acide sulfureux, qui irrite les bronches et excite la toux; enfin la pâte phosphorée est un poison violent dont on se sert, vous le savez, pour la destruction des rats.

Un perfectionnement important a été apporté dans la fabrication des allumettes par la préparation du phosphore amorphe. Cette invention est due à M. le docteur Scholter, de Vienne; elle date déjà de 1847, ce qui témoigne de la lenteur avec laquelle se propagent les procédés les plus utiles à l'humanité. Le phosphore amorphe ou phosphore rouge se distingue du phosphore ordinaire ou phosphore blanc par un ensemble de propriétés caractéristiques. Il ne produit aucune émanation nauséabonde ni lueur dans l'obscurité; il ne s'enflamme que vers 200 degrés et est complètement dépourvu de propriétés vénéneuses. Les allumettes au phosphore amorphe sont garnies d'une pâte au chlorate de potasse mêlée de matières combustibles, et d'un corps dur pulvérulent; elles ne peuvent prendre feu par friction sur une surface quelconque; la friction doit s'opérer sur une surface spéciale, recouverte d'un vernis contenant du phosphore amorphe disséminé dans une matière dure. La surface frottante est donc distincte de l'allumette. Le corps de l'allumette est imprégné de paraffine, au lieu de soufre, de telle sorte que la combustion ne donne aucune odeur désagréable.

Un autre perfectionnement plus récent consiste dans l'imprégnation du corps de l'allumette au moyen d'un sel d'alumine; elle a pour effet de

permettre d'éteindre complètement l'allumette en soufflant dessus, tandis que les allumettes non imprégnées conservent une partie charbonneuse incandescente, qui peut occasionner des incendies si on les projette sur des matières inflammables.

Pour vous donner une idée de l'importance de l'industrie des allumettes, je vous dirai que la Compagnie générale française en fabrique à elle seule plus de 25 milliards par an, tant en bois qu'en cire.

Il y aurait encore bien des choses intéressantes à vous dire sur ce sujet, mais cela m'entraînerait trop loin, et les allumettes ne peuvent être considérées que comme un accessoire dans l'éclairage.

Le prix élevé des allumettes en France a donné naissance à quelques autres moyens de produire une flamme, ou, pour mieux dire, des moyens connus ont pu prendre une forme pratique.

Ainsi le briquet de Gay-Lussac se vend aujourd'hui dans le commerce sous le nom de pyrophore ou allumette perpétuelle (Simondet); cet appareil, que je place sous vos yeux, est fondé sur la propriété que possède la mousse de platine d'enflammer l'hydrogène. L'hydrogène est produit par la réaction du zinc sur l'acide sulfurique et l'eau; le gaz peut sortir par un robinet et traverse une petite grille en cuivre contenant la mousse de platine qui détermine l'inflammation de l'hydrogène.

Cet autre appareil est un allumoir électrique (Dronier) fondé sur la propriété que possède un courant électrique de porter à la température rouge un mince fil de platine; si l'on approche de ce fil incandescent une petite lampe à essence, la vapeur d'essence qui s'échappe de la mèche s'enflamme. Le même principe a été appliqué par M. Dronier à l'allumage d'un bec de gaz; en tirant le fil attaché à cette tige, le robinet du gaz s'ouvre, et en même temps un contact électrique s'opère, qui fait rougir le fil de platine placé à l'extrémité de la tige, au moment où il se présente devant le courant de gaz qui s'échappe du bec, et le gaz s'allume.

Lumière électrique. — Il me reste à vous parler, Mesdames et Messieurs, de la lumière électrique, dont vous pouvez voir en ce moment à Paris de nombreux spécimens : la place et l'avenue de l'Opéra, le concert de l'Orangerie aux Tuileries, l'Arc de Triomphe de l'Étoile, l'Hippodrome, les magasins du Louvre et de la Belle-Jardinière vous donnent l'occasion de juger de l'intensité de la lumière obtenue, mais c'est là un des côtés de la question et non la question tout entière, car le coût de cet éclairage n'est pas à négliger, et vous ne doutez pas qu'on puisse obtenir un effet aussi brillant, et vous me permettrez d'ajouter plus agréable à la vue, avec un nombre suffisant de becs de gaz.

Il n'est pas moins vrai que l'éclairage électrique a fait depuis peu de temps de sérieux progrès, ou, pour être plus exact, je dirai que la pro-

duction de l'électricité a fait d'immenses progrès et que son application à l'éclairage en a fait de notables.

Je m'explique. Il y a peu de temps encore, on ne connaissait comme source importante d'électricité que la pile, c'est-à-dire la transformation d'une action chimique en électricité. Mais l'emploi des piles est très dispendieux, elles sont encombrantes, et leur puissance décline rapidement. On est arrivé aujourd'hui à transformer la force motrice en électricité, ce qui a permis d'obtenir des effets pour ainsi dire illimités avec des appareils occupant un espace relativement restreint et agissant avec une très grande régularité.

La lumière électrique est obtenue, comme toutes les autres lumières, en portant à une température très élevée un corps solide, qui, dans l'espèce, est du charbon. Lorsqu'un courant électrique parcourt un circuit fermé, si l'on crée dans ce circuit une résistance au passage de l'électricité, cette résistance se traduit toujours par de la chaleur; lorsque cette résistance est considérable et que l'intensité du courant est capable de la vaincre, la chaleur produite est telle qu'elle fond les métaux les plus réfractaires, comme le platine, ou bien, si la matière est infusible comme le charbon, elle la porte à une température excessivement élevée, à laquelle correspond, comme je l'ai dit en commençant, une apparence lumineuse proportionnelle.

Les machines capables de produire de l'électricité sont appelées machines magnéto-électriques ou dynamo-électriques, suivant que l'électricité y est produite par un aimant ou par un électro-aimant.

Elles sont toutes fondées sur quelques faits très simples, quoique merveilleux comme toutes les lois de la nature, qu'il est nécessaire que je vous indique en quelques mots.

En 1820, Oerstedt, physicien danois, remarqua qu'une aiguille aimantée est déviée de sa direction quand on la place près d'un circuit électrique fermé. Dans la même année, Ampère constata l'action réciproque de deux courants et celle des aimants sur les courants, et Arago découvrit qu'un courant électrique pouvait donner la vertu magnétique à une barre de fer ou d'acier. Enfin, quelques années plus tard, Faraday, physicien anglais, démontra qu'un aimant pouvait donner naissance à un courant électrique. Il constata également que, lorsqu'un circuit est parcouru par un courant électrique d'un sens déterminé, et qu'on en approche un autre circuit métallique, non parcouru par un courant, pendant tout le temps que dure le mouvement de rapprochement, il naît un courant électrique dans le second circuit, et ce courant est de sens inverse au premier.

Les courants, ainsi développés par l'influence d'un aimant ou d'un circuit électrisé, sont appelés courants d'induction ou courants induits; et

le barreau aimanté ou le premier courant, ayant donné naissance aux courants induits, se nomme courant inducteur.

Eh bien! toutes les machines magnéto-électriques ou dynamo-électriques sont basées sur ces quelques faits, et toutes les solutions trouvées consistent à rassembler et à concentrer les courants induits, déterminés par les mouvements relatifs d'aimants et d'électro-aimants.

Je sortirais de mon sujet en vous décrivant quelques-unes de ces machines. Je me bornerai à vous dire que celles qui sont entrées dans la pratique sont dues à MM. Nollet et Van Malderen, à M. Gramme, à M. Siemens et à M. Lontin.

La machine de Nollet, perfectionnée par M. Van Malderen et connue sous le nom de machine de l'*Alliance*, est employée, depuis un certain nombre d'années déjà, au phare de la Hève, au phare Gris-Nez et aux phares de Cronstadt et d'Odessa, pour la production de la lumière électrique. Mais, jusque dans ces derniers temps la lumière électrique exigeait l'emploi d'un régulateur, qui est un appareil assez compliqué et dispendieux. Vous savez que la lumière électrique est produite par un courant électrique qui jaillit entre les extrémités de deux baguettes de charbon; pour que cet effet se produise, il faut d'abord mettre les deux charbons en contact pour établir le courant, puis les séparer de manière que l'arc voltaïque se produise entre les deux extrémités, et les maintenir à un écartement convenable malgré l'usure des charbons. Le régulateur est destiné à satisfaire automatiquement à toutes ces conditions.

Le régulateur de M. Serrin était à peu près le seul employé, et fonctionnait d'ailleurs parfaitement.

M. Jablochkoff, ingénieur russe très distingué, a eu l'ingénieuse idée de supprimer le régulateur ou plutôt d'en imaginer un dans lequel les charbons fussent toujours au même écartement, et, à cet effet, il a placé les deux charbons parallèlement, en les séparant par une matière non conductrice de l'électricité, qui se volatilise en même temps que les charbons se consument. La simplicité du moyen employé par M. Jablochkoff a été l'occasion d'un grand succès, et le public l'a baptisé de suite du nom de bougie électrique. Le succès a été d'autant plus grand que plusieurs de ces bougies pouvant être mises sur le même courant électrique, on s'est imaginé que la divisibilité de la lumière électrique était trouvée. Cela est vrai jusqu'à un certain point, et l'on peut en effet mettre jusqu'à quatre bougies Jablochkoff sur un même courant, mais chacune d'elles représente encore une lumière d'une intensité considérable et exige une force motrice proportionnelle. En outre, on constate encore la loi que j'ai signalée pour toutes les lumières, que la somme des lumières ainsi fractionnées ne représente pas la lumière unique qu'on peut obtenir avec le même courant.

Néanmoins l'événement était assez considérable pour éveiller l'attention de tous les électriciens et pour causer quelque trouble, sinon parmi les hommes spéciaux de l'industrie du gaz, au moins parmi leurs actionnaires.

Les électriciens ont travaillé avec une ardeur et une intelligence sans égale, je me plais à le constater, et les résultats déjà obtenus sont assez importants pour les encourager. Un grand nombre de régulateurs nouveaux ont été inventés, et parmi les plus remarquables je signalerai ceux de MM. Carré, Jaspar, Hallé et Lontin. Tous offrent une régularité presque parfaite, et celui de M. Jaspar se fait remarquer par l'absence de tout mouvement d'horlogerie. Quant à celui de M. Lontin, le principe sur lequel il est contruit permet d'en installer jusqu'à douze sur le même courant, et d'en éteindre un ou plusieurs sans nuire au fonctionnement des autres, ce qui n'a pas lieu avec la bougie Jablochkoff, car, si l'une d'elles vient à s'éteindre, toutes celles qui se trouvent sur le même courant s'éteignent aussi.

Les perfectionnements importants que je viens d'indiquer ne m'empêchent pas d'avoir la plus grande confiance dans l'avenir de l'éclairage au gaz, et je vais vous en donner les raisons.

Je considère l'éclairage électrique comme susceptible de satisfaire à des besoins nouveaux et spéciaux, mais non comme devant remplacer les autres modes d'éclairage, et les principales raisons sont les suivantes : Si l'éclairage électrique ne peut se fractionner qu'en lumières encore très intenses, il ne peut s'appliquer aux usages auxquels les autres systèmes d'éclairage, et principalement le gaz, sont employés. Si, au contraire, on arrive à des fractions de 10 et 12 carcels, il y a des becs de gaz ou d'huiles minérales capables de donner ces intensités à moins de frais et surtout avec moins d'embarras. Pour obtenir une lumière avec le gaz, il suffit d'ouvrir un robinet et d'approcher une allumette enflammée; pour obtenir une lumière électrique, il faut une chaudière, une machine, un mécanicien, du charbon, de l'huile et tout ce qui s'ensuit. En outre, lorsqu'on achète du gaz, on sait la quantité de lumière qu'on en peut obtenir; le volume du gaz est exactement déterminé, et le pouvoir éclairant du mètre cube est constaté officiellement. J'aperçois bien le moyen de produire de la lumière électrique, mais je ne vois pas celui d'en vendre, et par conséquent d'en acheter : le mesurage de la quantité de lumière fournie est encore à trouver.

Cela ne m'empêche pas d'admirer les travaux et les progrès accomplis par les électriciens depuis quelques années, et je ne pense pas commettre une indiscrétion en disant que le jury des récompenses de la classe de l'éclairage, composé en grande partie de membres intéressés dans des éclairages concurrents, a donné, à l'unanimité, les récompenses les plus élevées aux électriciens.

Quant aux gaziers, j'y vois pour eux un stimulant qui portera certainement ses fruits; les progrès de la lumière électrique rendront probablement les Compagnies de gaz plus libérales, et elles renonceront à cette paperasserie administrative qui fait que, pour obtenir un abonnement au gaz, il faut presque montrer son contrat de mariage. Non contentes de donner en location des compteurs, elles arriveront certainement à louer également les appareils d'éclairage dans les appartements, et lorsque, pour avoir de la lumière, il suffira de payer une certaine quantité de gaz d'avance, comme on achète une certaine quantité d'huile ou de bougies, et de tourner un robinet, l'usage du gaz deviendra général. Telle est mon intime conviction.

M. Clémandot, *Président.* J'espère, Messieurs, qu'après les développements si clairs et si complets dans lesquels l'orateur est entré, chacun de nous connaîtra tous les moyens employés pour produire la lumière artificielle. Nous devons remercier M. Servier de nous avoir transmis sa science personnelle sur une branche de la technologie dans laquelle il est si compétent. (Applaudissements.)

La séance est levée à 3 heures 20 minutes.

NOTE.

Un grand nombre d'appareils avaient été mis par MM. les exposants à la disposition de M. Servier.

M. de Milly, fabricant de bougies à Saint-Denis, avait prêté divers échantillons montrant la succession des transformations des graisses dans la fabrication des bougies stéariques ;

M. Carrière, fabricant de bougies à Bourg-la-Reine, des bougies en paraffine ;

M. Schlossmacher, fabricant d'appareils d'éclairage, 19, rue Béranger, une lampe Carcel et une lampe modérateur à enveloppe de cristal, permettant de voir le mécanisme ;

M. Luchaire, fabricant d'appareils d'éclairage, 27, rue Érard, divers types de lampes à schiste et à pétrole ;

MM. Nicolas et Delarbre, fabricants de becs, 72, Faubourg-Saint-Denis, une collection de becs à gaz ;

M. Sugg, constructeur anglais, un bec soleil ;

M. Giroud, 27, rue des Petits-Hôtels, des rhéomètres ou régulateurs de becs ;

M. Bablon, 34, rue Boulard, un régulateur sec et un modèle en coupe ;

MM. Nicolas et Chamon, 53, rue Rodier, des compteurs-squelettes du système ordinaire et du système Rouget ;

MM. Siry Lizars, 128, rue Lafayette, un compteur-squelette du système à mesure invariable, et le volant de ce compteur ;

M. Gillet, 32, boulevard Henri IV, deux appareils d'essai pour les pétroles, et une lampe à magnésium ;

M. Simonet, 24, Faubourg-Poissonnière, un pyrophore ou allumette perpétuelle ;

M. Dronier, 4, passage Piver, un allumoir électrique et un allume-bec électrique ;

MM. Sautter et Lemonnier, 26, avenue Suffren, un régulateur de Serrin ;

M. Jablochkoff, 41, avenue de Villiers, un porte-bougies à commutateurs automatiques, et une série de bougies.

Un grand nombre d'appareils avaient été mis par MM. les exposants à la disposition de M. Serrier.

M. de Milly, fabricant de bougies à Saint-Denis, avait prêté divers échantillons montrant la succession des transformations des graisses dans la fabrication des bougies stéariques;

M. Carrière, fabricant de bougies à Bourg-la-Reine, des bougies en paraffine;

M. Schloesmacher, fabricant d'appareils d'éclairage, 19, rue Pérenge, une lampe Carcel et une lampe modérateur à enveloppe de cristal, permettant de voir le mécanisme;

M. Luchaire, fabricant d'appareils d'éclairage, 27, rue Brard, divers types de lampes à schiste et à pétrole;

MM. Nicolas et Delarbre, fabricants de becs, 72, Faubourg-Saint-Denis, une collection de becs à gaz;

M. Sugg, constructeur anglais, un bec soleil;

M. Giroud, 47, rue des Petits-Hôtels, des rhéomètres ou régulateurs de becs;

M. Balston, 63, rue Boulard, un régulateur sec et un rouleur en coupe;

MM. Nicolas et Chamon, 53, rue Rodier, des compteurs-spécimens du système ordinaire et du système Bouget;

MM. Siry Lizars, 128, rue Lafayette, un compteur-spécimen du système à mesure invariable, et le volant de ce compteur;

M. Gillet, 52, boulevard Henri IV, deux appareils d'essai pour les pétroles, et une lampe à magnésium;

M. Simonet, 45, Faubourg-Poissonnière, un pyrophore ou allumette perpétuelle;

M. Drouier, 4, passage Piver, un allumeur électrique et un allume-bec électrique;

MM. Sautter et Lemonnier, 26, avenue Suffren, un régulateur de Serrin;

M. Jablochkoff, 41, avenue de Villiers, un porte-bougies à commutateurs automatiques, et une série de bougies.

PALAIS DU TROCADÉRO. — 17 JUILLET 1879.

CONFÉRENCE
SUR LES SOUS-PRODUITS DÉRIVÉS
DE LA HOUILLE,

PAR M. BERTIN,

OFFICIER D'ACADÉMIE,
PROFESSEUR À L'ASSOCIATION POLYTECHNIQUE.

BUREAU DE LA CONFERENCE.

Président :

M. Lauth, chimiste, membre du conseil municipal de Paris.

Assesseurs :

MM. Fourcade, membre de la chambre de commerce.
Poirrier, fabricant de produits chimiques.

La séance est ouverte à 2 heures.

M. Lauth, *président.* Mesdames et Messieurs, je dois tout d'abord vous présenter les excuses de M. Schlesinger, qui devait présider cette séance et qui en est empêché par des occupations multiples. Il m'a chargé de vous présenter ses excuses et j'espère que vous voudrez bien les accepter. (Marques d'assentiment.)

Le sujet qui va être traité par M. Bertin est de la plus grande importance, et je ne veux déflorer en aucune manière l'exposé qu'il va vous en faire. Aussi ne vous dirai-je que quelques mots

Nul d'entre vous, Mesdames et Messieurs, n'a été sans observer que, depuis vingt ans, les matières colorantes, c'est-à-dire les substances chimiques qui servent à teindre les tissus, présentent un caractère tout à fait différent de celui qu'elles avaient auparavant. Jusque-là, en effet, ces ma-

tières colorantes étaient, en général, d'un éclat très modéré; mais, depuis cette époque, vous avez pu assister à une véritable transformation : les matières colorantes ont pris un éclat extraordinaire et chacun a pu se demander d'où venaient ces couleurs nouvelles.

Il y a encore vingt ans, les matières colorantes employées par les teinturiers étaient fournies directement par la nature, par exemple, l'indigo, la garance et le campêche. Il s'est produit alors une révolution d'un caractère spécial qui a eu pour effet de tirer les matières colorantes de produits artificiels, c'est-à-dire de produits sortis du laboratoire du chimiste.

Celui-ci a étudié la composition de certaines matières colorantes fournies par la nature, et, se préoccupant de l'importance considérable de ces matières, il s'est demandé s'il ne pourrait pas les remplacer par des produits artificiels. Alors, se mettant à la tâche, le chimiste, le savant a produit artificiellement une quantité considérable de matières colorantes. C'est là assurément l'une des découvertes les plus importantes, les plus utiles qui aient été faites, non seulement au point de vue du chiffre d'affaires qui correspond à l'emploi de ces matières colorantes, et qui se traduit actuellement par 100 millions par an, mais cette découverte est surtout un fait considérable, capital, en ce sens que le génie de l'homme a créé là quelque chose d'absolument nouveau. Ce point mérite de fixer votre attention et je suis persuadé qu'il vous sera indiqué dans la conférence que vous allez entendre.

D'où sort cette matière colorante? D'un produit modeste, d'un produit qui jusqu'à présent avait été rejeté comme un déchet de fabrication, du goudron de houille.

Jusqu'à ces dernières années, on vous le dira, le goudron de houille, c'est-à-dire le résidu de la fabrication du gaz d'éclairage, était une matière sans valeur qu'on n'employait qu'à graisser les roues des chariots; c'était une matière sans emploi; et, il y a vingt ans, on en a fait sortir de la benzine, de l'aniline, de l'acide phénique et une quantité d'autres produits intéressants dont on va vous entretenir.

J'ai cru devoir, Mesdames et Messieurs, vous donner ces quelques explications. Maintenant je donne la parole à M. Bertin. (Marques d'approbation.)

M. Bertin. Mesdames et Messieurs, en essayant de grouper les principaux faits qui établissent que, dans un avenir peut-être peu éloigné, le principal but de la distillation de la houille ne sera plus le gaz de l'éclairage, devenu alors l'accessoire, mais bien les sous-produits qui en dérivent, je n'ai pas tardé à m'apercevoir combien la tâche que j'avais assumée était

difficile et ardue, venant surtout après les hommes éminents qui m'ont précédé dans cette enceinte; mais j'ai pensé pouvoir compter sur beaucoup d'indulgence en échange d'une grande bonne volonté. (Marques d'adhésion.)

La houille, vous le savez, est employée :

Dans les appareils de chauffage, pour élever la température;

Dans les foyers des machines, pour obtenir une force; c'est une transformation de la chaleur en force mécanique;

Dans les usines à gaz, pour produire le gaz de l'éclairage.

C'est exclusivement sur les résidus de la distillation de la houille, dans les usines à gaz, que j'ai l'intention de vous donner quelques détails. Ces résidus sont connus sous le nom de *sous-produits dérivés de la houille*, le produit principal étant le gaz.

Je dois vous dire immédiatement que je n'ai pas l'intention de vous décrire les différents procédés de fabrication des matières dérivées de la houille; d'abord le temps me ferait absolument défaut, et ensuite ce n'est pas à ce point de vue exclusivement industriel que j'ai cru devoir me placer. Je veux simplement, sans entrer dans des détails par trop techniques, rester dans des généralités me permettant de faire entrevoir, à ceux qui n'en ont pas fait une étude spéciale, par quelle suite d'opérations on est arrivé, permettez-moi cette expression qui peut-être appartient plus à la rhétorique qu'à la science, mais qui résume et traduit bien ma pensée, comment, dis-je, on est arrivé à teindre une étoffe de laine ou de soie avec un morceau de charbon de terre.

Et, pour bien fixer les idées, afin que nous sachions bien d'où nous partons et où nous allons, je vais vous montrer notre point de départ actuel et quel devra être notre point d'arrivée.

A la fin de notre entretien, nous aurons à parler des couleurs d'aniline. La plupart peuvent être rendues solubles dans l'eau, et il en faut, pour ainsi dire, une quantité infinitésimale pour teinter l'eau contenue dans ce verre.

Voici du bleu d'aniline. Cette baguette en retiendra fort peu : c'est suffisant pour donner une teinte dont la pureté et l'éclat vous étonneront, si vous ne les connaissez déjà.

(Ici le conférencier fait une préparation.)

Eh bien, ce morceau de charbon de terre — voici l'hypothèse; ce produit — voilà la conclusion; essayons de passer de l'une à l'autre.

Les éléments qui constituent les houilles sont, à proprement parler, ceux de la végétation qui a donné naissance à la formation houillère, c'est-à-dire des éléments de nature organique : carbone, hydrogène, azote,

oxygène, soufre et eau. Nous ne devons donc pas trouver autre chose dans la distillation de la houille. L'analyse des houilles ne permet d'ailleurs pas de préciser, d'une manière absolue, leur composition élémentaire; il faut, la plupart du temps, s'en tenir à des moyennes, car il n'est pas rare qu'analysant successivement deux morceaux provenant d'un même bloc, on y trouve des différences de plus de 5 p. o/o de carbone.

Enfin, comme tous les corps d'origine végétale, la houille, en raison même des faibles résistances que les composés organiques offrent aux actions extérieures, est un corps facile à décomposer, et, des divers produits qui prendront successivement naissance, nous dirons, pour vous, Mesdames, qu'ils dépendent de la plus ou moins grande élévation de température, et pour vous, Messieurs, qu'ils sont fonction du degré de température.

La distillation de la houille donne un produit fixe, le coke, et des produits volatiles qui, après refroidissement et condensation, se séparent les uns en liquides ammoniacaux et matières oléorésineuses (les goudrons); les autres en gaz permanents. Ce sont ces derniers qui constituent le gaz d'éclairage, lequel a fait l'objet d'une précédente conférence et dont, par conséquent, je n'ai pas à vous parler.

Le coke qui reste dans les cornues, et dont vous voyez ici un des plus beaux échantillons que l'on puisse trouver [1], le coke conserve cette forme boursouflée que vous lui connaissez; elle est due à la fusion des bitumes et au gonflement opéré par le dégagement des gaz et des vapeurs.

Et comme il faut bien nous rendre compte qu'aucun des résidus de la fabrication du coke et, par conséquent, de la distillation de la houille, n'est perdu et ne trouve pas son emploi, nous verrons tout à l'heure comment ces immenses amas de poussière de coke restant dans les usines ont pu être utilisés, alors que pendant longtemps ce poussier était, aussi bien que le goudron de gaz, regardé comme une matière inutile et encombrante.

En sortant des appareils de distillation, le gaz de houille traverse des récipients remplis d'eau où il commence à se purifier en abandonnant successivement des matières nuisibles à l'éclairage et dont l'odeur désagréable n'en permettrait pas d'ailleurs l'emploi dans ces conditions. Ces eaux de condensation contiennent principalement du carbonate, du sulfhydrate et du chlorhydrate d'ammoniaque.

Dans certains cas, suivant les dispositions et l'agencement des usines, suivant leur plus ou moins grande facilité de transport et d'écoulement de leurs produits, il y a avantage et on trouve intérêt à employer directement ces eaux ammoniacales comme engrais liquide pour les champs et les

[1] Les différents produits que le conférencier fait passer successivement sous les yeux de l'auditoire ont été mis à sa disposition par le directeur de la Compagnie parisienne du gaz.

prairies. Plus généralement, elles servent à la fabrication du sulfate d'ammoniaque, qui jusqu'à présent est à peu près le seul sel ammoniacal utilement employé comme engrais.

La Compagnie parisienne du gaz fabrique le sulfate d'ammoniaque à un degré de pureté très grand; elle le livre à un prix relativement très inférieur, et elle ne peut pas suffire aux demandes qui lui sont adressées par les cultivateurs, à qui seuls elle vend ce produit.

Ne voyez pas, Messieurs, dans ces quelques paroles, une réclame pour la Compagnie, qui, certes, n'en a pas besoin. Mais je tiens, en passant, à dire à sa louange, et publiquement, qu'elle cherche, dans l'espèce, à être utile à l'agriculture; car, si elle n'accepte pas de livrer ses produits au premier acheteur qui se présente, c'est afin que ce sulfate d'ammoniaque ne soit pas mélangé à des matières étrangères avant d'être répandu sur la terre qu'il doit féconder.

Enfin, ces eaux ammoniacales servent aussi à la préparation industrielle de l'ammoniaque, dont vous connaissez tous l'odeur pénétrante et désagréable. L'ammoniaque caustique du commerce, ou alcali volatil, présente parfois une teinte ambrée qui est due à l'altération de substances organiques mises en contact avec elle. Pour la purifier, il suffit de la distiller en présence de la chaux éteinte; on l'obtient alors absolument blanche, ainsi que vous pouvez en juger par ces deux échantillons.

Voici l'alcali ambré. Voici l'alcàli distillé en présence de la chaux éteinte et qui, comme vous le voyez, est absolument blanc.

En médecine, on emploie l'ammoniaque comme caustique; vous savez également, ou plutôt vous avez entendu dire, qu'administrée avec prudence, — quelques gouttes dans l'eau, — c'est un puissant moyen de combattre l'ivresse alcoolique; enfin l'ammoniaque est un des principaux réactifs employés dans les laboratoires de chimie.

Nous arrivons maintenant, Messieurs, à la partie la plus intéressante comme la plus vaste de cette étude : je veux parler des goudrons de houille.

Quand on distille la houille, la température joue un très grand rôle dans la production du goudron, dont la densité est plus ou moins grande que celle de l'eau, suivant que la température a été plus ou moins élevée; la proportion obtenue est d'autant plus grande que l'on a chauffé progressivement, graduellement.

Au sortir des appareils de condensation, le goudron est dirigé dans de vastes citernes où on l'abandonne à lui-même jusqu'à ce qu'il soit séparé des eaux ammoniacales auxquelles il était mélangé.

Jusqu'à ces dernières années, on éprouvait de grandes difficultés à débarrasser le gaz des matières goudronneuses qui avaient échappé à l'action des réfrigérants. Vous pouvez voir aujourd'hui, à l'Exposition uni-

verselle, dans la classe 53, un condensateur fort ingénieux, imaginé par MM. Pelouze et Audoin. Le gaz y passe par une série de trous de $0^{m},0015$ de diamètre et se trouve projeté sur un plan incliné. L'aplatissement des globules goudronneux, leur contact intime, enfin leur réunion en une masse liquide sont la conséquence des chocs successifs auxquels ces globules sont soumis.

Avant son passage dans le condensateur, le gaz offre l'aspect d'une colonne de fumée noirâtre. Il en sort complètement incolore et le goudron s'écoule d'une manière continue.

Le goudron de houille est une matière des plus complexes. Quand on le distille, la partie qui distille au-dessous de 300 degrés est composée de trois groupes de corps : des carbures d'hydrogène indifférents, des bases organiques et des acides. Le traitement industriel du goudron consiste précisément à séparer les bases et les acides des carbures.

Les premiers produits de la distillation du goudron sont les huiles lourdes et les huiles légères, et le résidu forme une masse très dure, très noire et très brillante qu'on appelle le *brai*. Le brai peut être gras ou sec, suivant que la distillation a été poussée plus ou moins loin.

Voici un échantillon de brai qui est le résidu de la distillation du goudron.

Le brai est à environ 110 degrés, quand il sort des appareils pour se rendre dans de grandes fosses creusées dans la terre, où il se solidifie au contact de l'air. Nous reviendrons, dans peu d'instants, sur les huiles lourdes et les huiles légères; voyons d'abord comment on peut utiliser le brai, afin de ne pas laisser en arrière un seul sous-produit sans établir l'utilité qu'on a pu en tirer.

Le brai sert à faire des agglomérés.

En dehors des combustibles naturels, on utilise encore dans la pratique des déchets de toute nature, pour en former des combustibles artificiels, en les mélangeant avec des corps formant ciment. C'est ce qui constitue la fabrication des agglomérés, connus plus généralement sous le nom de *briquettes*, — et dont voici un échantillon.

Le goudron brut, le brai gras et le brai sec sont les seuls ciments que la pratique ait consacrés, et qui soient encore employés aujourd'hui. Un bon aggloméré doit remplir plusieurs conditions : être peu hygrométrique, dépourvu d'odeur, s'allumer facilement sans se désagréger au feu, et, enfin, ne donner que 7 à 10 p. 0/0 de cendres.

La production des agglomérés dépasse annuellement 700,000 tonnes, en France; elle se trouve encore au-dessous de la consommation, car, dans une certaine proportion, les chemins de fer sont obligés de s'adresser à l'Angleterre et à la Belgique.

La marine française s'en sert également.

Je n'ai pas à vous décrire les procédés en usage pour la fabrication des agglomérés dont vous pouvez vous rendre compte facilement, en obtenant l'autorisation de visiter l'usine des goudrons de la Villette; visite également intéressante pour les dames, qui peuvent être assurées d'y trouver le sol pouvant rivaliser, comme propreté, je dirai presque avec bien des appartements.

Vous y verrez utiliser, pour la fabrication des agglomérés, ce poussier de coke si encombrant jusque dans ces dernières années. On le mélange avec du brai concassé; le tout passe à la noria, et, après avoir été placé dans des moules, on le soumet à une pression de 100 kilogrammes par centimètre carré.

Revenons aux produits de la distillation du goudron, c'est-à-dire aux huiles lourdes et aux huiles légères.

Avant de passer en revue les différents traitements que l'on fait subir à ces huiles pour en extraire les corps nombreux qu'elles contiennent, je m'arrêterai un moment sur l'emploi des huiles lourdes de goudron pour la conservation des bois, et comme exemple je prendrai, si vous le voulez bien, les traverses de chemins de fer.

Quand les huiles lourdes de goudron, connues sous le nom de *tout-venant,* ne sont pas purifiées, elles contiennent généralement, en grande abondance, de la naphtaline, dont on peut les débarrasser suffisamment en les abandonnant à elles-mêmes, en les laissant reposer à une température un peu basse.

Vous savez que précédemment on conservait les bois en les injectant de sulfate de cuivre. Pourquoi a-t-on remplacé le sulfate de cuivre par l'huile lourde de goudron?

D'abord, dans le premier système, les bois ne se conservaient pas suffisamment longtemps; on ne fait encore, il est vrai, qu'expérimenter le nouveau mode d'opérer, mais il y a tout lieu de croire que les résultats seront meilleurs.

On a commencé à injecter d'huiles lourdes de goudron les traverses de chemins de fer, au lieu de sulfate de cuivre, en même temps qu'on établissait des voies en acier. On pense que ces traverses dureront aussi longtemps que les rails d'acier. Cette substitution trouve sa raison dans les considérations suivantes :

Le sulfate de cuivre, en contact avec les matières organiques, se décompose, puis reprend à l'air une partie de son oxygène pour se reconstituer. Il y a, en un mot, un mouvement chimique qui s'opère dans le bois et qui le désagrège. De plus, pour les traverses de chemins de fer spécialement, il se produit, auprès des tire-fonds en fer, un petit courant galvanique qui est encore une cause de désagrégation. Ajoutez à cela que le sulfate de cuivre du commerce est presque toujours trop acide.

Pour ces différents motifs, on a remplacé le sulfate de cuivre par l'huile lourde de goudron, et alors des matières organiques se trouvant en présence, par injection, d'autres matières organiques, la désagrégation ne semble pas devoir se produire, tout au moins aussi rapidement.

On injecte, en moyenne, 250 litres d'huile lourde par mètre cube de bois. En peu de mots, voici comment se conduit l'opération :

On chauffe préalablement les traverses à la vapeur d'eau, à environ 60 à 65 degrés, puis on les place dans des étuves dont la température est de 45 à 50 degrés. De là on les empile dans un cylindre où l'on fait le vide et l'on ouvre un robinet qui laisse monter l'huile lourde; alors on foule à 5 ou 6 atmosphères.

Il faut que ces huiles lourdes soient débarrassées de naphtaline autant que possible, parce que, à la température ordinaire, la naphtaline — que vous voyez ici, en couche inférieure, dans ce vase — se solidifie et cristallise dans les pores du bois, dans les cellules qu'elle obstrue, empêchant ainsi l'huile de pénétrer plus avant.

Voici deux échantillons de traverses injectées d'huiles lourdes. L'un est un morceau de sapin. On peut y suivre facilement la pénétration de l'huile lourde, mais le cœur du bois reste intact : les cellules, trop rapprochées, ne permettent pas à l'huile d'y pénétrer. L'aubier seul du bois se trouve injecté, mais c'est suffisant pour la conservation de la traverse. Vous voyez également que dans ce morceau de chêne l'huile lourde s'arrête à l'aubier; c'est suffisant pour la conservation du bois.

Voyons, Messieurs, comment on traite les huiles de goudron de houille.

Des huiles lourdes on commence par extraire la naphtaline, qui, en somme, est peu employée relativement aux autres sous-produits. Elle est utilisée pour préserver les plantes des insectes, qu'elle ne détruit pas, mais qu'elle fait fuir. En médecine, on l'emploie dans certaines maladies de la peau. Ce sont là des usages un peu restreints; nous allons en voir une application plus industrielle.

Malgré de nombreuses tentatives faites en vue de préparer des matières colorantes en partant de cette substance, on ne connaît, jusqu'à présent, qu'un nombre très restreint de couleurs qui trouvent réellement leur application industrielle et qui soient dérivées de la naphtaline.

Je vais vous montrer une de celles qui sont les plus stables, c'est le brun Bismarck. Si j'en projette quelques parcelles dans cette eau bouillante et que j'y plonge ce morceau de laine, j'obtiens cette belle coloration, sans mordant et sans préparation de l'étoffe.

On retire aussi des huiles lourdes de goudron le phénol ou acide phénique, dont les applications sont nombreuses et qui sert principalement à prévenir la putréfaction des matières animales. Le procédé d'extraction

est basé sur ce fait que le phénol se dissout dans les alcalis, tandis que les huiles neutres ou basiques y sont insolubles.

Les dérivés du phénol sont l'acide rosolique ou coralline, la péonide, l'azoline, la phénicine, qui sont employés comme matières colorantes, et l'acide picrique, dont le pouvoir tinctorial est si grand qu'un gramme de cet acide permet de teindre en jaune un kilogramme de soie.

Cet acide picrique, combiné à la potasse, forme un corps éminemment explosible; vous vous souvenez de l'épouvantable catastrophe dont le laboratoire de la maison Fontaine, sur la place de la Sorbonne, a été le théâtre, à la suite d'une manipulation de picrate de potasse.

Voici cet acide qui a une teinte jaune très accentuée, et voici l'acide phénique qui est absolument blanc.

En oxydant le tétrachlorure de naphtaline par l'acide azotique, on obtient l'acide phtalique.

Parmi les combinaisons de cet acide avec les phénols, il faut signaler la fluorescéine, découverte il y a quelques années et qui donne une très belle couleur jaune rouge. La fluorescéine tétrabromée est connue sous le nom d'*éosine*, que vous voyez dans ce flacon.

La fluorescéine sert à faire de l'encre rouge, qui est employée surtout pour régler les livres de commerce et faire ces lignes verticales rouges que vous connaissez.

Voilà les principaux corps que l'on retire des huiles lourdes de goudron. Nous allons trouver, dans le traitement des huiles légères, des matières plus répandues dans l'industrie et dont les applications sont beaucoup plus nombreuses.

Le traitement que l'on fait subir aux huiles légères consiste à les mélanger d'abord avec de l'acide sulfurique, puis avec de la soude caustique, et l'on obtient ainsi la benzine.

Cette matière vous est bien connue. Elle jouit de la propriété de dissoudre les corps gras et peut, par conséquent, servir à détacher les tissus qui en sont imprégnés.

Le benzol, par une série de transformations remarquables, va nous conduire, en quelque sorte, à la préparation de toutes les couleurs.

Et d'abord, cette benzine, dont l'odeur si forte et si désagréable vous poursuit avec tant de persistance, comme pour attester que la tache de votre vêtement n'existe plus, cette benzine sert à la préparation d'un parfum connu sous le nom d'*essence de mirbane* ou de *nitrobenzine,* matière huileuse qui, à cause de l'analogie d'odeur, sert à remplacer l'essence d'amandes amères dans la parfumerie commune.

On emploie le benzol pour dissoudre le caoutchouc et la gutta-percha, et produire des feuilles très minces de ces deux substances, pour rendre le papier transparent, sans laisser aucune trace de son passage après la vola-

tilisation ; pour dissoudre les corps gras, les résines, et enfin pour former la nitrobenzine. Réduite par l'hydrogène naissant, la nitrobenzine donne une nouvelle substance : l'aniline.

L'aniline est la base d'une industrie florissante qui, née d'hier, est remarquable non seulement par le chiffre des capitaux qui y sont engagés et la multiplicité des intérêts qui s'y rattachent, mais encore par la beauté des produits, la variété des recherches qu'elle a amenées et l'importance des travaux scientifiques auxquels elle a donné lieu.

C'est avec l'aniline que sont produites ces couleurs éblouissantes qui frappent nos yeux depuis quelques années et qui, au mérite incontestable d'une pureté et d'un éclat inconnus jusqu'alors, joignent encore celui d'un bon marché remarquable. Malheureusement, à la fin de 1872, dans un rapport adressé à l'Académie des sciences, M. Chevreul appelait l'attention du public sur l'instabilité des couleurs d'aniline. Elles sont, en effet, excellentes pour les étoffes de modes qui sont destinées à être remplacées fréquemment, mais il n'en est pas de même, à cause de leur fragilité, pour les étoffes d'ameublement qui doivent durer plus longtemps.

Nous allons, si vous le voulez bien, passer en revue les principales matières colorantes dérivées de l'aniline. Elles sont nombreuses; quelques-unes d'entre elles sont bien étudiées; d'autres sont à peine connues scientifiquement.

Nous avons vu la teinture que l'on obtient avec le brun Bismarck dérivé de la naphtaline. On obtient directement le violet d'aniline en mélangeant, dans des proportions convenables, de l'aniline avec de l'acide sulfurique et du bichromate de potasse. Au bout de quelque temps, la liqueur est troublée, et si on l'abandonne à elle-même, on trouve, au fond du vase un dépôt pulvérulent noirâtre qui, traité par l'alcool, lui cède une belle couleur violette : c'est le violet d'aniline.

Voici de l'aniline; voici du violet d'aniline; vous voyez que cette dissolution est d'une pureté et d'une beauté remarquables.

Pour produire du rouge d'aniline, le procédé consiste à faire réagir sur l'aniline du bichlorure d'étain anhydre (liqueur de Libavius). Les deux liqueurs incolores se mélangent, puis on chauffe : une ébullition violente se produit, la masse se solidifie par suite de la formation de cristaux abondants qui fondent sous l'action de la chaleur; cette masse brunit peu à peu, augmente d'intensité et finit par devenir d'un beau rouge foncé. Le procédé le plus employé est le procédé à l'acide arsénique; mais il serait désirable qu'on trouvât un moyen différent de transformer économiquement l'aniline en matière colorante rouge, car l'emploi d'une substance aussi toxique que l'acide arsénique a déjà donné lieu à des accidents terribles.

Cependant disons que, dans des usines dirigées par de véritables chi-

mistes, ces accidents ne se produisent pas ou du moins ne se produisent que très rarement.

Le rouge d'aniline est aussi connu sous les noms de *fuchsine, rouge solférino, rouge magenta, roséine,* etc.

En chauffant pendant quelques instants ce rouge d'aniline avec l'aniline même qui a servi à le produire, la matière devient violette; en continuant l'opération pendant un temps suffisant, la masse devient complètement bleue. C'est ainsi qu'on obtient ce beau bleu d'aniline dont l'éclat ne le cède en rien à celui du rouge dont nous venons de parler. Je vais vous en montrer une dissolution dans l'eau. Voici encore l'orange d'aniline dont le ton est d'une douceur extraordinaire.

Là ne s'arrêtent pas les transformations de l'aniline. Placée dans des conditions convenables, elle permet d'obtenir, outre les couleurs que je viens de vous citer, le vert, le jaune, le noir, en quelque sorte toute la gamme des couleurs.

Vous pouvez voir aussi — sur ce tableau — la plupart des couleurs obtenues avec l'aniline comme base : cet ensemble constitue une série à peu près complète des couleurs connues.

Si la préparation de toutes ces couleurs est facile, leur emploi n'en est pas moins simple. La laine et la soie se teignent directement sans mordant, par une immersion dans le bain coloré, de telle sorte que si les couleurs dérivées du goudron de houille avaient été les seules connues jusqu'à présent, on pourrait dire que l'art de la teinture serait encore à créer.

La plus grande partie des matières colorantes dérivées de l'aniline est consommée par l'industrie de la teinture et de l'impression; les papiers peints en consomment également dans une grande proportion. Elles servent aussi, à l'état de laques, dans la lithographie et l'imprimerie. Enfin on les emploie encore, en raison même de leur prix très bas, dans la coloration d'une foule d'objets tels que savons, vinaigres de parfumerie, etc.

L'aniline est un poison énergique. De trop fréquents accidents ont démontré combien il est indispensable de prendre de grandes précautions pour éviter l'intoxication lente des ouvriers qui sont soumis à l'action de ses vapeurs. L'absorption de l'aniline ou de ses sels est promptement accusée par la coloration violette des ongles et des gencives des personnes intoxiquées.

Dans les fabriques dirigées par des chimistes sérieux, la préparation des couleurs d'aniline, quoique exigeant, dans certains cas, de grandes quantités d'acide arsénique, ne cause, comme je le disais tout à l'heure, aucun accident grave.

Je vais vous montrer les échantillons des principales couleurs d'aniline

dont la reproduction est sur ce tableau, afin de bien établir qu'il suffit d'une simple immersion dans le bain coloré pour obtenir la teinture.

(Ici le conférencier procède à diverses préparations, qu'il décrit successivement pour montrer des échantillons de teinture sur laine.)

Voici le bleu d'aniline, l'orange, le vert et le violet d'aniline. Voici le rouge d'aniline ou fuchsine.

Par ces préparations je tenais à démontrer la facilité avec laquelle les étoffes peuvent être teintes. Le tableau que vous avez devant les yeux indique la gamme de toutes les couleurs que l'on peut obtenir avec les dérivés de la houille.

Telle est, Mesdames et Messieurs, la série des couleurs que l'on peut dériver de l'aniline; tels sont les principaux produits dérivés de la houille sur lesquels je m'étais proposé d'appeler votre attention. Je n'avais certes pas l'intention de vous initier à tous les détails de fabrication des matières dérivées de la houille; mon désir était seulement qu'en sortant d'ici vous en ayez, permettez-moi l'expression, une légère teinture.

En présence de pareils résultats, disons, en terminant, que ces merveilleuses découvertes ne se font pas subitement; elles sont le résultat de travaux persévérants qui ont été exécutés, pendant de longues années, sur les goudrons de houille, et si j'avais à vous faire l'historique de ces travaux, j'aurais à vous citer les noms des savants les plus illustres de tous les pays.

Donc, Mesdames et Messieurs, nous devons comprendre et rester convaincus que ceux qui se livrent à ces longues et pénibles études du laboratoire servent, à la fois, et la science et leur pays. (Vive approbation et applaudissements.)

M. Lauth, *président*. Mesdames et Messieurs, je crois être votre interprète en remerciant notre conférencier, M. Bertin, du talent et de l'éloquence avec lesquels il a traité son sujet. (Assentiment général et bravos.)

Si le temps le lui avait permis, il nous aurait cité encore d'autres exemples intéressants; je ne puis que renouveler à M. Bertin nos remerciements les plus sincères pour ses intéressantes explications. (Nouvelles marques d'approbation.)

La séance est levée à 3 heures 20 minutes.

PALAIS DU TROCADÉRO. — 20 JUILLET 1878.

CONFÉRENCE SUR L'ACIER,

PAR M. ERNEST MARCHÉ,

INGÉNIEUR CIVIL.

BUREAU DE LA CONFÉRENCE.

Président :

M. Daubrée, membre de l'Institut.

Assesseurs :

MM. Clémandot, ingénieur civil.
Foucher de Careil, sénateur.

La séance est ouverte à 2 heures.

M. Daubrée, *président*. Messieurs, la séance est ouverte. Vous allez entendre une conférence qui mérite tout votre intérêt sur un sujet qui est à l'ordre du jour. Comme vous le savez, l'acier a fait dans ces dernières années de grands progrès dont il va vous être donné l'histoire. La parole est à M. Marché.

M. Marché. Messieurs, je viens vous entretenir des propriétés et des applications de l'acier, ou pour mieux dire, des aciers.

Vous avez pu remarquer dans vos visites à l'Exposition, tant dans les galeries du Palais du Champ de Mars que dans les nombreuses annexes où nos grands établissements métallurgiques ont groupé leurs appareils et leurs produits, que l'acier était partout.

Non seulement l'acier, comme nous l'avons vu de tout temps, est appliqué dans des conditions particulières, pour certaines pièces de machines exigeant une grande dureté, pour les outils servant au travail des métaux

et pour lesquels on utilise surtout la propriété caractéristique de l'acier tel qu'on le définissait autrefois, celle de durcir par l'opération de la trempe; et aussi, en raison de sa grande élasticité, la fabrication des ressorts de toute espèce, pour la carrosserie, les wagons et les locomotives. Mais aujourd'hui, et depuis une quinzaine d'années surtout, l'acier s'est substitué au fer dans toutes les grandes applications nées de l'extension des voies de communication, de la navigation et des chemins de fer.

On fabriquait autrefois, il y a vingt ans, en France, de 25 à 30,000 tonnes d'acier par an, à peu près autant dans les divers autres pays : on en fait aujourd'hui plus de 300,000 tonnes; on en fait 400,000 tonnes en Allemagne; 500,000 en Angleterre; 400,000 aux États-Unis; en un mot, on fabrique aujourd'hui plus de 1,500,000 tonnes d'acier.

L'acier, en effet, a remplacé le fer pour les rails, pour les bandages de roues, pour les essieux, pour les tôles de chaudières, pour les tôles de navires, pour les ponts, etc., et, dans tous ces nouveaux usages de l'acier, ce ne sont plus les propriétés spéciales de l'acier tel qu'on le produisait jadis, l'élasticité et la dureté, qui sont utilisées : c'est la malléabilité.

En effet, ce rail de 52 mètres de long que l'usine John Cockerill, de Seraing, a dû, pour lui trouver place dans l'Exposition belge, plier, cintrer, pour en former une énorme hélice suspendue au-dessus du laminoir qui l'a produit, ce rail est en acier.

Les bandages de roues obtenus sans soudure, de dimensions si variées, mais qui sont présentés à l'Exposition, non seulement dans leur état d'emploi, mais encore écrasés, aplatis, après l'action de chocs répétés, sont aussi en acier.

Ces essieux, qui sont pliés à froid, et recourbés jusqu'à ce que les deux fusées viennent à se toucher, sont en acier.

Enfin, l'acier est employé à faire des tôles, à faire des canons, des arbres de machines.

Les plaques de blindage destinées à défendre les navires de guerre contre le choc des projectiles les plus durs sont en acier; les projectiles eux-mêmes, les obus destinés à détruire les blindages sont également en acier. L'acier sert à faire aussi bien la cuirasse qu'aucun projectile ne doit percer, que les projectiles qui doivent détruire les blindages les plus épais.

D'un autre côté, l'acier se rencontre dans l'Exposition avec un grand nombre de qualificatifs, avec des noms spéciaux : acier cémenté, acier puddlé, acier fondu; avec des noms désignant les appareils de production : acier Bessemer, acier Martin, acier Pernot; ou enfin sous une désignation qui annonce la présence d'autres corps : acier chromé, au phosphore, au manganèse, au tungstène.

Je ne crois pas me tromper en admettant qu'un grand nombre de mes auditeurs, à la vue de ce métal-protée, qui se présente sous les formes les plus diverses, avec le même nom; ou sous la même forme, avec des noms différents, se sont posé souvent cette question : Qu'est-ce que l'acier?

Le but de cet entretien est de répondre à ce point d'interrogation en vous présentant le tableau esquissé à grands traits, d'une part, des procédés par lesquels on fait les divers aciers dont je viens de parler, de l'autre, des propriétés diverses de ces aciers; et de passer en revue leurs applications principales dans le présent et dans l'avenir.

Voici donc, en peu de mots, le plan de cette conférence : procédés de fabrication, propriétés des aciers, leurs applications.

En ce qui concerne les procédés de fabrication, je n'ai ni le temps ni l'autorité nécessaires pour les présenter au point de vue métallurgique; je n'en veux dire que ce qui est nécessaire à l'intelligence du sujet.

Le fer, vous le savez, se trouve dans la nature à l'état de minerai. Lorsque notre pauvre petite planète a commencé à se refroidir, les métaux qui se trouvaient à sa surface à l'état liquide, après avoir été à l'état de vapeurs, se sont solidifiés, mais se sont solidifiés au contact, probablement, de grandes quantités d'oxygène qui ont oxydé le fer dans tous les points où il se trouvait, de sorte que nous avons, dans le minerai, le fer ayant perdu toutes ses propriétés caractéristiques, ayant perdu son aspect métallique, du fer oxydé, en un mot, soit à l'état de protoxyde, soit à l'état de peroxyde, soit à l'état de carbonate. Dans les minerais riches ou pauvres, on est en présence du fer ayant perdu ses propriétés, et le but de l'homme, dans tous ses appareils et par tous les procédés de la métallurgie, est de redonner la vie à ce fer mort, de le ressusciter, de le revivifier, de le réduire.

Toute la métallurgie du fer et de l'acier a pour base le traitement du minerai dans le haut fourneau, la transformation du minerai de fer en fonte. J'ai fait reproduire ici, en quelques images, pour faciliter les explications que j'ai à vous fournir, les principaux appareils, et d'abord le haut fourneau.

Le haut fourneau est un appareil dans lequel on traite le minerai en le mettant, à une haute température, en contact avec le charbon de bois, le coke ou la houille, et en y ajoutant les fondants nécessaires pour que la gangue du minerai, la partie qui n'est pas du fer, puisse être éliminée. La partie supérieure, que l'on appelle *cuve*, est disposée de façon que les charges alternatives de charbon et de minerai descendent avec une vitesse convenable pour que la réduction, l'absorption de l'oxygène par le carbone, puisse s'effectuer; à la partie inférieure se trouvent les étalages et enfin un creuset où se réunit le fer, à l'état de fonte. Le gaz oxyde de carbone formé par la combustion du charbon réagissant sur le minerai et le trans-

formant en fer, ce fer se trouve à une haute température en présence du carbone, et alors le fer dissout du carbone qui donne au métal ainsi produit cette propriété caractéristique de la fonte, que vous connaissez, d'être fusible. C'est ce qui permet au haut fourneau de produire, par grandes masses, un métal fondu qui peut couler et fournir des gueuses de fonte qui, traitées dans d'autres appareils, seront la base de la métallurgie du fer et de l'acier.

Ainsi, ce n'est pas du fer qu'on obtient, c'est de la fonte, c'est-à-dire du fer mélangé ou combiné avec 3, 4, 5 p. o/o de carbone, lequel, dissous dans le fer, lui donne la propriété d'être fusible. C'est cette fonte qui, suivant la température du fourneau, suivant les minerais employés, suivant la quantité de charbon mise en présence d'une même quantité de minerai, se produit sous deux aspects : la fonte de moulage, la plus carburée, la plus fusible, la plus propre à faire des pièces moulées, et la fonte d'affinage, renfermant moins de carbone, plus facile à être délivrée de ce carbone et à être transformée plus tard en fer.

La métallurgie du fer, dont je n'ai qu'un mot seulement à dire avant d'arriver à la métallurgie de l'acier, comporte l'emploi d'appareils destinés à traiter la fonte et à la ramener à l'état de fer en lui retirant les 3 ou les 3 1/2 p. o/o de carbone qui y ont été introduits dans le haut fourneau. C'est généralement dans les fours à puddler, par l'opération connue sous le nom de *puddlage,* dans laquelle on porte la fonte à une haute température, en présence de gaz qui enlèvent le carbone et transforment en oxyde de carbone le carbone qui se trouve dans la fonte, qu'on la ramène ainsi à l'état de fer.

Il y a vingt-cinq ans, nous ne connaissions le fer qu'à ces deux états de fer et de fonte, et à un troisième état intermédiaire qui était l'acier, c'est-à-dire du fer renfermant, au lieu de 2, 3, 4 p. o/o de carbone comme la fonte, 1, 1 1/4 ou 1 1/2 de carbone. Cet acier était surtout remarquable par la propriété dont je parlais tout à l'heure, celle de durcir par la trempe. Il était obtenu dans des circonstances particulières, souvent assez inexplicables, mystérieuses parfois et dépendant surtout de la richesse et de la pureté du minerai employé.

En tout cas, étant admis que l'acier est du fer carburé, mais moins carburé que la fonte, deux procédés, deux méthodes peuvent servir à l'obtenir : l'une consistant à prendre du fer qui n'est pas carburé et à le carburer de la quantité nécessaire pour lui donner les propriétés de l'acier; l'autre méthode consistant à fondre de la fonte contenant 3 à 4 p. o/o de carbone et à la décarburer partiellement, de manière à l'amener à l'état intermédiaire entre la fonte et le fer. Le premier procédé, qui consistait à faire de l'acier avec du fer en le carburant, constituait ce qu'on nommait la *cémentation.*

Dans des fours disposés *ad hoc,* des barres de fer de faibles dimensions étaient placées par lits successifs au milieu de poussière de charbon et chauffés à une haute température. En présence du charbon, le fer se carburait peu à peu, le carbone pénétrant dans l'intérieur de chacune des barres en allant de la surface au centre, s'y dissolvait, et au bout d'un certain temps on avait une série de barreaux d'acier cémenté, qui renfermaient une certaine proportion de carbone. Cette opération était très coûteuse, car elle était longue : elle durait quinze ou vingt jours. L'acier cémenté ainsi obtenu était irrégulier; certaines barres étaient plus carburées les unes que les autres, mais si on les reprenait et si, après les avoir cassées et triées, on les replaçait dans un creuset et on les fondait, car c'était une matière fusible, on obtenait alors une matière beaucoup plus homogène : de l'acier fondu. C'est cet acier fondu qui a fait pendant tant d'années la réputation des aciers de Scheffield. Enfin vers 1850, on a commencé à employer, à pratiquer la seconde méthode pour obtenir de l'acier, celle consistant à décarburer partiellement la fonte, c'est-à-dire à la traiter dans un four à puddler, comme on traite le fer, mais en arrêtant l'opération à un moment déterminé. Je ne dis pas quels étaient les détails de l'opération, mais c'est ainsi qu'on fait encore ce qu'on appelle l'*acier puddlé.*

C'est en 1856 que survint la grande révolution métallurgique due à l'invention du procédé Bessemer. Le procédé Bessemer consiste, comme le puddlage, à obtenir de l'acier en décarburant la fonte, mais cette décarburation s'effectue dans un appareil spécial qu'on appelle le *convertisseur.*

Voici les dispositions, trop peu visibles de loin, d'un atelier Bessemer. Il se compose de deux convertisseurs. Un convertisseur Bessemer est une sorte de cornue en tôle dont l'intérieur est revêtu de matières réfractaires. Cette cornue est fixée sur un axe horizontal autour duquel elle peut tourner de manière à prendre diverses positions. La cornue teintée ici en bleu est dans sa position verticale; on peut la faire tourner en lui faisant décrire un quart de cercle, de manière à amener l'orifice supérieur en face de la porte d'un four par laquelle s'écoule de la fonte; on peut donc la remplir d'une certaine quantité de fonte en fusion. On peut enfin la faire tourner de 180 degrés, ce qui est indiqué dans la seconde figure, de manière à verser extérieurement la fonte après qu'elle a été traitée et qu'elle est devenue de l'acier fondu. Le fond de cette cornue est constitué par une tuyère multiple au travers de laquelle on insuffle une grande quantité d'air avec une certaine pression.

Lorsqu'on a rempli un convertisseur d'une certaine quantité de fonte, en introduisant de l'air avec une grande pression par la partie inférieure de manière que cet air traverse la masse de fonte, le phénomène qui

se produit consiste dans la combustion, au contact de cet air, d'abord du silicium que renferme la fonte et ensuite du carbone, et cette combustion se fait en élevant la température de la masse, de sorte que, quand le carbone est brûlé et que la fonte s'est transformée ou en fer ou en acier peu carburé, la masse est à l'état de fusion, parce que la température y a été considérablement élevée par la combustion du silicium et du carbone. Si l'opération était prolongée, si on continuait à insuffler de l'air plus longtemps après que toute la masse est transformée en fer fusible, c'est le fer, à son tour, qui brûlerait en se transformant en oxyde de fer. Il est donc indispensable d'arrêter l'opération lorsque toute la quantité de carbone a été brûlée, et alors on fait faire à la cornue le mouvement inverse dont je parlais tout à l'heure, pour en verser le contenu, qui est de l'acier à l'état liquide.

Il faut dire qu'à l'origine surtout il n'était pas possible de décarburer la fonte juste au point voulu pour avoir l'acier qu'on désirait, et l'opération consistait, — elle consiste encore souvent, — à insuffler assez d'air pour brûler toute la quantité de carbone, décarburer complètement la fonte, puis à introduire dans l'intérieur du convertisseur une certaine quantité de fonte renfermant une quantité de carbone parfaitement déterminée et destinée à ramener la masse qui se trouve dans la cornue à l'état de l'acier ayant le degré de carburation désiré. On emploie dans ce but les fontes très riches en manganèse connues sous le nom de *Spiegel Eisen* ou des alliages de fonte et de manganèse, des *ferro-manganèses*.

Le manganèse est un grand élément de réussite de cette opération, parce qu'il facilite la réduction de l'oxyde de fer qui a pu se produire et dont la présence dans le métal en altérerait toutes les propriétés. Le traitement d'une masse de 5 à 10,000 kilogrammes de fonte dure de quinze à vingt minutes; c'est certainement l'opération la plus extraordinaire, la plus belle qui se soit faite en métallurgie. A ce sujet, j'exprimerai le regret que j'ai éprouvé, surtout en constatant, dans l'exposition belge, combien le public s'intéressait à la marche du laminoir de l'usine de Seraing, quoiqu'il fonctionnât à vide, qu'on n'ait pas installé et fait fonctionner à l'Exposition un appareil Bessemer. En montrant dans ses détails pittoresques comment s'effectue cette opération si admirable par sa rapidité et par la puissance des moyens employés pour la manœuvre des appareils, nul doute qu'on aurait ainsi contribué à l'éducation générale des masses et jeté peut-être dans le public les germes de découvertes futures.

J'ajouterai que l'appareil Bessemer exige pour son emploi des fontes d'une très grande pureté; car si l'on peut éliminer le silicium et le carbone, on ne peut pas éliminer de même le phosphore et les autres corps qui se trouvent toujours dans la fonte. D'un autre côté, il faut employer de la fonte, on ne peut pas employer du fer ou des débris de fer et des débris

d'acier. C'est ce qui a conduit à rechercher, à joindre au procédé Bessemer un autre procédé : la fabrication de l'acier sur sole, qui est devenue pratique lorsqu'on a connu en France le moyen d'obtenir de très hautes températures dans des fours à réverbère, c'est-à-dire par l'emploi des appareils *Siemens,* qui ont trouvé leur application non seulement dans la métallurgie, mais dans la verrerie et la fabrication du gaz.

Lorsqu'on a pu obtenir de hautes températures, on a songé à faire l'acier en traitant la fonte, comme dans le four à puddler, sur une sole, et en y faisant fondre du fer (c'était le procédé indiqué en 1722 par Réaumur), et en y faisant fondre du fer, dis-je, en quantité suffisante pour que la quantité moyenne de carbone contenue dans la fonte primitive et dans le fer qu'on ajoutait vînt constituer la teneur voulue de l'acier; on obtint ainsi la transformation de la fonte en acier, par sa décarburation et la cémentation du fer, carburé par le carbone que lui abandonne la fonte.

La différence des procédés est caractérisée par ce fait que dans le procédé Bessemer le carbone est brûlé, et que dans la fabrication de l'acier sur sole le carbone renfermé dans la fonte est uniquement réparti sur une plus grande quantité de matière, et que cette matière employée peut être du fer, de l'acier peu carburé, peut être surtout du fer et de l'acier hors d'emploi, qu'on ne peut pas traiter dans le convertisseur Bessemer.

Je sortirais, je crois, du sujet en parlant de la manière d'obtenir les hautes températures et du four *Siemens.* Je vous ai indiqué ici, dans cette quatrième figure, un four à sole, placé au-dessus du récupérateur de chaleur; c'est le moyen qui permet, dans les fours Siemens, d'arriver à de hautes températures. Au lieu de brûler le charbon, on brûle du gaz obtenu dans un appareil spécial, dans un gazogène, et ce gaz oxyde de carbone est formé par la combustion incomplète du charbon et mis en présence de l'air; l'air ainsi que le gaz sont chauffés en utilisant la chaleur perdue dans les *récupérateurs,* appareils en maçonnerie placés au-dessous des fours et dans lesquels le courant des produits gazeux qui s'échappent marche en sens inverse de l'air et de l'oxyde de carbone.

Pour revenir à ce qui concerne l'acier sur sole, je me borne à vous dire qu'on applique le procédé de chauffage Siemens pour avoir de hautes températures, et qu'il consiste à décarburer une masse de fonte en la mettant en contact avec du fer. Comme je le disais tout à l'heure, l'idée en avait été indiquée en 1722 par Réaumur; le procédé lui-même a eu pour premier inventeur un ingénieur des mines très regretté, M. Lechatelier, qui avait décrit et proposé un four pour la fabrication de l'acier dans ces conditions. Les premières expériences ayant échoué par suite d'une trop haute température donnée au four, la première fois qu'on s'en est servi, elles ont été reprises plus tard, avec succès, par M. Martin, de Sireuil, et le métal obtenu par ce procédé prit le nom d'*acier Martin.*

Pour répondre à une question qui est faite bien souvent : quelle différence y a-t-il entre les aciers Martin et Bessemer? je dirai qu'il y a la différence de procédés que je viens d'indiquer, mais que, si les aciers étaient obtenus avec les mêmes matières et si le produit obtenu était un produit aussi carburé dans un cas que dans l'autre, il n'y aurait pas, dans les procédés eux-mêmes, de raison pour que ces aciers aient des propriétés différentes. Si des aciers Martin et Bessemer obtenus dans une même usine ont des propriétés différentes, c'est que, en général, chacun des deux procédés est appliqué pour traiter des matières premières, des fontes, de qualités différentes.

On sait que les appareils dont je viens de parler ont subi depuis des modifications, des transformations. Il s'en fait tous les jours; mais je tiens à me borner ici à n'indiquer que les appareils classiques.

Je ferai remarquer, en terminant cet exposé sommaire des procédés de fabrication de l'acier, que la grande raison des progrès rapides qui ont été faits depuis quinze ou vingt ans, c'est l'intervention de la chimie. C'est le laboratoire établi dans l'usine qui règle dans toutes ses phases la marche de la fabrication des aciers.

Il faut se rappeler qu'autrefois il était loin d'en être ainsi. C'était le maître fondeur qui seul connaissait et réglait l'allure du haut fourneau ; c'était l'ouvrier puddleur qui, guidé par des traditions, mais sans connaître les réactions qui se produisent, conduisait l'opération du puddlage.

Aujourd'hui, c'est le laboratoire qui mène et dirige tout. On analyse les matières premières, les produits, les résidus, les scories ; on sait combien il entre de kilogrammes de fer, de carbone, de manganèse, de phosphore, etc., dans la masse de fonte qu'on veut traiter ; on sait quel est le poids de ces éléments qui est éliminé pendant l'opération et quelle est la quantité qui en est restée dans le produit. Je le répète donc, c'est à la chimie que nous devons les grands progrès qui se sont faits en métallurgie dans ces quinze dernières années. (Applaudissements.)

Parallèlement aux efforts des métallurgistes, pour l'obtention de produits de plus en plus purs, de plus en plus parfaits et de moins en moins coûteux, les consommateurs de ces produits ont également fait faire de grands progrès, en remplaçant l'examen superficiel qu'on faisait des produits par des méthodes d'expérimentation précises.

Autrefois on essayait le fer en le confiant au forgeron qui le travaillait. On le pliait, on examinait la cassure, on se rendait compte de ses aspects, de la manière dont il se comportait pendant le travail. Mais aujourd'hui on ne procède plus ainsi, et, pour savoir exactement ce que vaut un acier, on fait des essais dont les résultats peuvent être représentés par des chiffres.

Ne pouvant analyser l'acier, on le casse, mais on le casse méthodiquement. On lui fait subir des essais de traction, de flexion, de compres-

sion, de torsion, en notant toutes les circonstances qui se produisent, en constatant surtout, quand la pièce a commencé à se déformer, avec quelle intensité cette déformation se produit, quelle est la résistance à la rupture, quels sont les allongements à la traction et les raccourcissements à la compression; on arrive en un mot, pour un produit déterminé, à résumer toutes ses propriétés par des chiffres. Nous disons d'un acier : il a telle résistance, tant d'allongement, telle élasticité. Ces déterminations sont maintenant si nécessaires et d'un emploi si général que vous avez pu remarquer qu'il y a à l'Exposition des appareils considérables, destinés à exercer des efforts de 40, 50, 60 tonnes afin de faire des essais, non pas sur de petits échantillons, sur de petites éprouvettes, mais sur les pièces elles-mêmes, comme les rails, les essieux, les bandages.

Ces appareils d'essais sont nombreux. Nous en voyons à l'exposition de diverses compagnies de chemins de fer qui sont obligées, employant l'acier en grande quantité, d'exercer un contrôle rigoureux et d'avoir un classement sérieux des produits. Il y a des appareils d'essais installés dans les établissements de l'État, par la marine, par l'artillerie, etc.

Sans vouloir passer en revue toutes les propriétés de l'acier, je ferai ressortir seulement les quelques points suivants :

Le principal essai qu'on fait subir à l'acier pour en constater la nature et la valeur consiste généralement à former une tige bien cylindrique, à la soumettre à un effort de traction et à la briser en constatant l'effort sous lequel cette tige se rompt et la longueur qu'a prise la tige après avoir été soumise à cet effort de rupture.

Un acier est alors caractérisé par sa résistance par millimètre carré de section et par l'allongement à la rupture mesuré sur des tiges de même section et de même longueur.

La résistance est d'autant plus grande et l'allongement d'autant plus petit que l'acier renferme plus de carbone.

J'ai essayé ici de constituer une échelle des aciers, considérant l'acier comme étant uniquement du fer dans lequel une certaine quantité de carbone est resté soit dissous, soit mélangé.

Voici une échelle verticale dont le zéro est à la partie supérieure et dont les divisions représentent des millièmes de carbone. Le numéro 1 correspond à 1 de carbone pour 1,000 de fer; le numéro 10 correspond à 1 p. 0/0 de carbone; le numéro 20, à 2 p. 0/0; le numéro 30, à 3 p. 0/0. Le zéro correspond au fer pur ne renfermant pas trace de carbone.

En face de la division correspondant à la teneur en carbone d'un acier, on a porté sur une ligne perpendiculaire la valeur de sa résistance à la traction; on peut voir ainsi comment cette résistance varie avec la quantité de carbone dissous ou mélangé dans le fer.

Des lignes de diverses couleurs réunissent les points correspondant à

la résistance d'aciers de même provenance et de teneurs en carbone différentes. Le trait rouge correspond aux aciers tels que les usines de Seraing les présentent dans leur classement; le trait bleu, au classement de l'usine du Creusot, et le trait noir représente une série d'aciers provenant des usines de Terre-Noire, dont les échantillons et les résultats d'essai figurent dans la collection même de l'exposition de ces usines.

Tous ces aciers ont des différences de constitution résultant de la présence de divers corps de nature étrangère. Mais les lignes correspondant à chaque série ont une direction commune et montrent que la résistance de l'acier augmente à mesure qu'augmente la quantité de carbone, et cela, jusqu'au point correspondant à 1 et 1 1/4 p. o/o de carbone, chiffre à partir duquel la résistance diminue très rapidement, puisque, lorsque l'on considère du fer renfermant 3 ou 4 p. o/o de carbone, on a de la fonte et qu'on ne trouve plus que des résistances de 8 à 12 kilogrammes par millimètre carré de section, tandis que l'acier le plus résistant peut supporter un effort de 90 à 100 kilogrammes et que le fer qui correspond à o a une résistance de 30 à 32 kilogrammes.

Une seconde figure donne une démonstration analogue, fournie en se servant des essais faits sur des aciers de Suède, de provenances diverses, par M. Knut Styffe.

On y remarquera des aciers qui renferment de très fortes proportions de carbone, plus fortes que dans les classements commerciaux et qui montrent bien que le maximum de résistance de l'acier correspond à 1 ou 1 1/4 p. o/o de carbone, et que, lorsque la teneur en carbone est supérieure à 1 1/4 p. o/o, cette résistance diminue. De même, si en face de chacune de ces indications on porte les allongements produits au moment où la rupture de la pièce a lieu, on voit que les pièces qui offrent le moins de résistance sont celles qui présentent le plus d'allongement, et qu'au contraire cet allongement va en diminuant à mesure que le fer est plus carburé et qu'on se rapproche de l'acier le plus dur.

Si l'on arrive aux fontes renfermant 2 ou 3 p. o/o de carbone, on voit qu'il n'y a plus d'allongement sensible et que les pièces se brisent sans modification dans la forme. Les résultats de l'expérience sont cotés et chiffrés sur les deux figures que je viens d'examiner.

Veuillez admettre, pour un instant, Messieurs, qu'il n'y a pas dans l'acier de matières étrangères, qu'il est produit avec du fer pur, dissolvant une certaine quantité de carbone également pur; l'échelle dont je parle pourrait être alors celle représentée dans cette troisième figure [1]. Ici j'ai ajouté des teintes colorées qui rendront plus compréhensible la manière dont on peut passer du fer à la fonte.

[1] Voir la planche annexée.

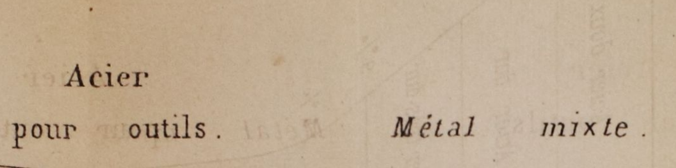
EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1878

CONFÉRENCE SUR L'ACIER

par M. E. MARCHÉ

20 Juillet 1878

ECHELLE DES ACIERS.



A. Broise et Courtier, R. de Dunkerque.

Sur cette figure, l'échelle verticale représente toujours la quantité de carbone dissous ou mélangé dans le fer, et les lignes perpendiculaires représentent les résistances qui correspondent, dans la couleur rouge à celle du fer pur, dans la couleur bleue à celle de la fonte, dans le violet à celle de l'acier très dur, et vous voyez que la résistance augmente depuis le fer, qui est le rouge, jusqu'à l'acier, qui est le violet, pour diminuer en passant par un métal intermédiaire entre l'acier et la fonte, jusqu'à la fonte elle-même, qui est le bleu.

Veuillez maintenant, Messieurs, considérer dans ces couleurs les teintes comme représentant non plus des séries de produits, mais les propriétés caractéristiques du fer et de la fonte, aux deux points extrêmes de l'échelle, le rouge, comme représentant la malléabilité qui caractérise le fer, et le bleu, comme représentant la fusibilité qui caractérise la fonte. Vous voyez, en partant du bleu, par la différence des teintes, qu'à mesure qu'on diminue la quantité de carbone, on diminue la fusibilité.

Au contraire, le rouge représentant la malléabilité, quand la quantité de carbone augmente, la teinte diminue et l'on arrive à ce produit intermédiaire qu'on appelle l'acier, qui est représenté par le violet, et dans lequel la fusibilité existe, puisqu'il y a du bleu, et où la malléabilité se manifeste également, puisqu'il y a du rouge. Ainsi, en suivant la gradation et la fusion de ces deux couleurs, on embrasse tout l'ensemble des produits de la métallurgie de l'acier. (Applaudissements.)

J'ajouterai que, si j'ai séparé ces teintes par des lignes et fait représenter ici des bandes qui correspondent à certains groupes d'aciers et qui nous serviront, dans un instant, pour parler de leurs applications, en réalité, ce ne devraient pas être des bandes de teintes différentes, mais des teintes continues et se succédant par degrés insensibles comme celles du spectre solaire, chaque nuance correspondant à un acier un peu différent. La moindre différence dans la teneur en carbone, en passant d'un acier à l'autre, suffit donc pour que la résistance et l'allongement soient modifiés, ainsi que toutes les autres propriétés.

Je dirai, en outre, qu'on peut considérer le violet foncé comme représentant à son maximum la faculté de durcir par la trempe qui caractérise l'acier à 1 ou 1 1/4 p. o/o de carbone et qui va en diminuant à mesure qu'on se rapproche du fer pur.

Je ferai remarquer encore que notre échelle ayant à son zéro le fer, dont la résistance est de 32 kilogrammes environ, si on prolongeait la ligne qui enveloppe les valeurs des résistances des divers aciers au-dessus du zéro de l'échelle jusqu'à une ligne correspondant à une résistance de 23 à 24 kilogrammes, qui est la résistance du cuivre, on aurait la ligne jaune figurée. Si l'on prolonge cette ligne jaune sur l'échelle des allongements, elle correspondra justement à l'allongement du cuivre qui est de

Les bandages de roues se feront, au contraire, avec de l'acier plus dur.

A partir de la proportion de 7 à 8 millièmes de carbone, on a longtemps compris tous les aciers durs sous la même désignation d'aciers pour outils. Ces aciers sont eux-mêmes maintenant l'objet d'un classement détaillé. Il y a à l'Exposition des aciers pour outils comprenant six numéros différents; ils sont classés suivant la teneur en carbone qui fait varier leur dureté et la faculté de recevoir la trempe. La nature d'outils qu'on peut faire avec chaque acier est ainsi rigoureusement déterminée.

Maintenant, entre l'acier très dur représenté par le violet et la fonte représentée par la couleur bleue, j'ai indiqué un métal mixte, comprenant des produits qui ne sont pas encore connus, ou du moins qu'on commence à peine à obtenir sous une forme industrielle. Ces produits, renfermant des quantités de carbone comprises entre celles que renferme l'acier et celles qu'on trouve dans la fonte, doivent avoir des qualités et des propriétés également intermédiaires. La grande difficulté a toujours été d'obtenir ces produits sans soufflures. On paraît être parvenu, en traitant des mélanges de fonte alliée à de fortes proportions de silicium, à obtenir des aciers coulés sans soufflures et à produire ce métal mixte qui peut renfermer de 1 1/2 à 2 1/2 p. 0/0 de carbone. Ce métal pourra servir à faire des moulages, et, dans un avenir prochain, nous verrons se réaliser la substitution de l'acier coulé à la fonte, comme nous avons vu l'acier doux et étirable remplacer le fer.

Ainsi l'acier, c'est-à-dire le fer carburé, depuis celui qui renferme quelques millièmes de carbone jusqu'à celui qui en renferme 3 p. 0/0, constituera le seul métal employé sous le seul et même nom d'acier, mais avec des propriétés différentes, dues uniquement aux différences de teneur en carbone. (Très bien! très bien!)

Je terminerai, Messieurs, par quelques mots relatifs à l'avenir.

Le développement considérable des applications industrielles des aciers, pour le matériel des chemins de fer surtout, est dû, vous le savez, à ce que son prix de revient s'est abaissé peu à peu et qu'aujourd'hui l'acier pour rails ne coûte pas beaucoup plus cher que le fer. La différence qui existe entre le prix de l'acier et le prix du fer résulte uniquement de la nécessité d'employer, pour fabriquer l'acier, des matières très pures, car l'ensemble des opérations qu'on fait subir à la fonte pour la transformer en acier Bessemer ou Martin constitue un travail bien moins coûteux, donnant moins de déchets, exigeant de moindres consommations de combustible et moins de main-d'œuvre que celui auquel on est obligé de soumettre la fonte pour la transformer en fer et pour transformer le fer ébauché en corroyé, en rails ou autres pièces. Il n'y a d'autres motifs, pour que l'acier coûte plus cher que le fer, que la valeur de la matière première employée, la nécessité d'avoir des fontes très pures, faites avec

40 p. o/o; autrement dit, le cuivre viendrait se placer, à son rang, dans notre échelle, et comme résistance et comme allongement.

Je ne veux conclure de ce rapprochement qu'une seule chose qui résulte de l'examen de la situation respective de la ligne jaune du cuivre et des autres traits de notre échelle : c'est qu'il y a moins de différence, quant aux propriétés industrielles, entre du cuivre et du fer qu'il n'y en a entre de l'acier doux et de l'acier dur. (Très bien! très bien!)

J'ai lieu de croire, Messieurs, que ce que je viens de dire de la manière dont la quantité de carbone fait varier les propriétés de l'acier suffira pour rendre claires les quelques indications qu'il me reste à fournir au sujet des applications.

Les applications de l'acier résultent de ses propriétés. Dans notre échelle, le rose comprend ce qu'on appelle les aciers commerciaux, c'est-à-dire les aciers fabriqués par toutes les usines, par le procédé Bessemer, en particulier, pour obtenir des rails, des essieux, toutes les pièces qui sont employées dans l'industrie des chemins de fer.

Ces quatre bandes roses, les unes plus foncées, les autres plus claires, correspondent aux quatre qualités d'aciers commerciaux : acier très doux, acier doux, acier demi-dur, acier dur. Le premier, comme le fer, se forge, se soude et ne trempe pas; le quatrième ne se soude pas et prend fortement la trempe. Les deux autres ont des propriétés intermédiaires.

Au delà se trouvent les aciers à outils, qui renferment plus de 7 millièmes de carbone.

Le choix à faire entre chacun de ces aciers, pour une application déterminée, est facile :

Pour les rails, par exemple, l'acier doit remplir deux conditions un peu opposées. On cherche, en substituant le rail d'acier au rail de fer, à avoir un rail qui dure plus longtemps, qui s'use moins, dont la surface ait une plus grande dureté, ayant d'ailleurs l'avantage d'être plus homogène que le rail de fer, formé en soudant des morceaux les uns aux autres et donnant lieu à des exfoliations. On cherche donc la dureté. Mais d'un autre côté, il faut que le rail puisse supporter les chocs qui peuvent résulter du passage des trains et, par conséquent, qu'il soit malléable. Si l'on employait des rails en acier très dur, afin d'avoir des rails dont la surface ne s'usât pas, on aurait des rails qui casseraient; avec de l'acier doux, on aurait des rails qui ne casseraient pas, mais qui s'useraient rapidement. On emploiera donc l'acier appartenant aux deux bandes intermédiaires : à la première, la moins carburée, quand on tiendra surtout à la malléabilité; à la seconde, quand on donnera plus d'importance à la résistance à l'usure, à la dureté.

Les essieux seront faits avec l'acier le plus doux, parce que la sécurité exige que ces pièces supportent les chocs sans se rompre.

Les bandages de roues se feront, au contraire, avec de l'acier plus dur.

A partir de la proportion de 7 à 8 millièmes de carbone, on a longtemps compris tous les aciers durs sous la même désignation d'aciers pour outils. Ces aciers sont eux-mêmes maintenant l'objet d'un classement détaillé. Il y a à l'Exposition des aciers pour outils comprenant six numéros différents; ils sont classés suivant la teneur en carbone qui fait varier leur dureté et la faculté de recevoir la trempe. La nature d'outils qu'on peut faire avec chaque acier est ainsi rigoureusement déterminée.

Maintenant, entre l'acier très dur représenté par le violet et la fonte représentée par la couleur bleue, j'ai indiqué un métal mixte, comprenant des produits qui ne sont pas encore connus, ou du moins qu'on commence à peine à obtenir sous une forme industrielle. Ces produits, renfermant des quantités de carbone comprises entre celles que renferme l'acier et celles qu'on trouve dans la fonte, doivent avoir des qualités et des propriétés également intermédiaires. La grande difficulté a toujours été d'obtenir ces produits sans soufflures. On paraît être parvenu, en traitant des mélanges de fonte alliée à de fortes proportions de silicium, à obtenir des aciers coulés sans soufflures et à produire ce métal mixte qui peut renfermer de 1 1/2 à 2 1/2 p. 0/0 de carbone. Ce métal pourra servir à faire des moulages, et, dans un avenir prochain, nous verrons se réaliser la substitution de l'acier coulé à la fonte, comme nous avons vu l'acier doux et étirable remplacer le fer.

Ainsi l'acier, c'est-à-dire le fer carburé, depuis celui qui renferme quelques millièmes de carbone jusqu'à celui qui en renferme 3 p. 0/0, constituera le seul métal employé sous le seul et même nom d'acier, mais avec des propriétés différentes, dues uniquement aux différences de teneur en carbone. (Très bien! très bien!)

Je terminerai, Messieurs, par quelques mots relatifs à l'avenir.

Le développement considérable des applications industrielles des aciers, pour le matériel des chemins de fer surtout, est dû, vous le savez, à ce que son prix de revient s'est abaissé peu à peu et qu'aujourd'hui l'acier pour rails ne coûte pas beaucoup plus cher que le fer. La différence qui existe entre le prix de l'acier et le prix du fer résulte uniquement de la nécessité d'employer, pour fabriquer l'acier, des matières très pures, car l'ensemble des opérations qu'on fait subir à la fonte pour la transformer en acier Bessemer ou Martin constitue un travail bien moins coûteux, donnant moins de déchets, exigeant de moindres consommations de combustible et moins de main-d'œuvre que celui auquel on est obligé de soumettre la fonte pour la transformer en fer et pour transformer le fer ébauché en corroyé, en rails ou autres pièces. Il n'y a d'autres motifs, pour que l'acier coûte plus cher que le fer, que la valeur de la matière première employée, la nécessité d'avoir des fontes très pures, faites avec

des minerais très riches, qu'il faut faire venir de loin. L'un des progrès qui se réaliseront d'ici à peu de temps et vers lequel sont dirigées les recherches des métallurgistes, c'est l'emploi de minerais moins riches et moins chers, emploi d'autant plus nécessaire qu'il permettra d'utiliser les richesses de notre sol qui sont maintenant sans emploi, parce qu'il faut se servir aujourd'hui de minerais venant d'Algérie et d'Espagne. Il y a lieu d'espérer que, dans un certain avenir, on emploiera des fontes moins coûteuses que celles dont on se sert aujourd'hui; le prix de l'acier pourra donc baisser encore par rapport au prix du fer.

J'ai dit déjà que l'acier était appelé également à remplacer la fonte pour le moulage des pièces, dont on augmentera ainsi considérablement la résistance.

Il y a lieu d'attendre encore de grands progrès de l'étude qui se poursuit des effets, sur l'acier, de certains corps qui, comme le manganèse, le chrome et le tungstène, augmentent et développent certaines de ses propriétés.

Je dois ajouter que l'extension des appareils métallurgiques permet d'obtenir des pièces dont les dimensions sont de beaucoup plus grandes que celles qui étaient obtenues autrefois.

Je ne suis pas, je l'avoue, de ceux qui éprouvent un vif enthousiasme en présence des engins de guerre puissants; mais je me félicite quand je vois fabriquer des canons avec l'acier puddlé ou Bessemer, et des obus avec le métal au silicium, parce que les usines qui les produisent sont obligées, pour le faire, d'étendre leur outillage, d'augmenter la puissance de leurs appareils. Je sais telle usine qui, recevant une commande de quelques canons de poids exceptionnel, qu'elle accepte par patriotisme, est obligée de remplacer un appareil qui permet de traiter à la fois 10,000 kilogrammes, par un appareil qui en traitera 20,000 et de substituer à son marteau de 30 tonnes un marteau de 60,000 kilogrammes.

Les six ou huit canons demandés seront fabriqués et livrés, et le matériel puissant qu'ils ont nécessité restera; il faudra l'utiliser, on fabriquera alors pour l'industrie, pour les navires, pour les machines, des pièces devant l'exécution desquelles on reculait jadis.

Il y a beaucoup à espérer, dans l'avenir, de cet accroissement des moyens de production des forges. On pourrait donner une autre forme à la phrase connue : *Si vis pacem, para bellum;* nous pourrions dire que, si nous sommes fortement outillés pour la guerre, nous le serons mieux encore pour l'industrie et pour la paix. (Applaudissements.)

Je m'arrête ici, Messieurs, sans avoir épuisé mon sujet; j'espère en avoir dit assez pour vous faire partager l'admiration très profonde que j'éprouve en voyant en 1878 la manifestation des progrès immenses obtenus en métallurgie.

Ces progrès sont les résultats de l'alliance de la science et de l'industrie, alliance qui est surtout féconde quand la science est désintéressée et que l'industrie privée est éclairée. (Très bien ! très bien ! Applaudissements.)

M. Daubrée, *Président*. Je suis parfaitement certain, Messieurs, d'être l'interprète unanime de cette assemblée, en exprimant à M. Marché avec quel vif intérêt nous avons entendu cet exposé, si lucide et si sensé, des questions les plus intéressantes pour l'époque actuelle. En effet, personne n'ignore que l'acier est un des outils les plus puissants qui aient été donnés à l'homme et à la civilisation. Je suis l'interprète de tout l'auditoire en remerciant vivement M. Marché de la manière pleine d'intérêt dont il vient de nous faire passer quelques instants. (Applaudissements.)

La séance est levée à 3 heures un quart.

PALAIS DU TROCADÉRO. — 27 JUILLET 1878.

CONFÉRENCE SUR LE VERRE,

PAR M. CLÉMANDOT,

INGÉNIEUR CIVIL.

BUREAU DE LA CONFÉRENCE.

Président :

M. Fremy, membre de l'Institut.

Assesseurs :

MM. Bourdais, architecte du palais du Trocadéro;
Chabrier, ingénieur civil, membre du Jury;
Didron, membre du Jury;
Péligot, membre de l'Institut;
Robert, directeur de la manufacture de Sèvres;
Sampieri, membre du Jury.

La séance est ouverte à 2 heures.

M. Fremy, *Président,* donne la parole à M. Clémandot.

M. Clémandot. Messieurs, en présence d'une assistance aussi nombreuse et aussi choisie, en présence des hommes éminents qui sont venus m'encourager, je me sens pris de la crainte d'être bien insuffisant pour la tâche que j'ai entreprise. Quoi qu'il en soit, je vais essayer de répondre à votre attente, en cherchant, à défaut d'éloquence, à être aussi clair, aussi limpide que le sujet que je vais traiter.

Le verre est une des matières manufacturées dont l'emploi est le plus répandu; il suffit d'ouvrir les yeux pour apercevoir du verre; c'est le verre à vitre qui clôture nos maisons, tout en laissant pénétrer la lumière à l'in-

térieur; dans la cave de ces maisons, nous trouvons la modeste bouteille, qui contient le vin dont la valeur s'élève quelquefois au centuple; dans la salle à manger, nous voyons les cristaux, les services de table; dans le salon, les glaces, les lustres, dont les magnifiques spécimens ne cessent d'attirer à l'Exposition l'admiration des visiteurs. Si nous pénétrons dans le cabinet de l'amateur, nous remarquons ces verreries anciennes si élégantes, ces verres irisés, gravés, etc.; enfin dans l'atelier du photographe, dans le cabinet du savant, du chimiste, du physicien, de l'astronome, nous rencontrons du verre, toujours du verre.

Le verre qui compose tous ces objets, de formes, d'aspects et d'usages si différents, les uns d'un prix si bas, les autres souvent si chers, diffère très peu par les matériaux qui le constituent; la silice (que les gens du monde appellent le sable) en est l'élément principal; il faut la fondre à l'aide d'une température très élevée, en y ajoutant des fondants, qui sont : la chaux, la soude, la potasse, le plomb.

Commençons par la bouteille, qui, par son prix si minime (12, 15, 30 centimes pièce), est le produit le moins coûteux de la verrerie; débutons par elle, à cause des échantillons divers que vous avez devant vous et qui représentent toutes les phases de la fabrication verrière; échantillons que MM. Tumbeuf neveu et neveu, habiles fabricants de bouteilles de la Vieille-Loye, près Montbarrey (Jura), une des plus anciennes verreries de France, ont eu l'heureuse idée de montrer aux visiteurs de l'Exposition. En les prenant pour exemples, il me sera possible de vous démontrer cette fabrication, qui s'appliquera aussi bien à la production de la bouteille qu'à celle des objets les plus riches et les plus luxueux de la verrerie.

La matière consiste donc en un mélange composé d'un sable ferrugineux, qui se trouve généralement dans les environs de la verrerie, auquel on ajoute, pour le fondre, du calcaire et du sulfate de soude, qui coûte peu de chose, parce qu'il est assez impur et contient encore du chlorure de sodium non décomposé. Quand cette matière est bien fondue dans un creuset, on la puise, en quantité suffisante, avec une *canne* ou tube en fer de $1^{m},10$ à $1^{m},20$: puis on l'enroule sur la canne; à ce moment, la pièce est encore massive, on la souffle alors un peu; ensuite on l'allonge en la laissant pendre et en lui imprimant un mouvement de battant de cloche tout en soufflant; enfin, on fait dans le fond, en piquant la paraison (c'est le terme consacré), une espèce de bouton qui renforce cette partie de la bouteille; une fois finie de ce côté, on la prend avec un outil qui la saisit par le fond, pour pouvoir faire le goulot et y rapporter un cordon : la bouteille est terminée.

Un ouvrier fait environ 60 bouteilles à l'heure, autrement dit, il fait une bouteille à la minute, et on comprend la nécessité d'une fabrication si rapide, puisque l'on sait que le verre n'est ductile et malléable que

quand il est mou, c'est-à-dire quand il est chaud, et il se refroidit très rapidement. Quand la bouteille est achevée, on la met dans un four, dit four à recuire, où le refroidissement a lieu le plus lentement possible. C'est à cette condition que cette bouteille pourra résister aux transports, qu'elle pourra surtout supporter les pressions de 5 à 6 atmosphères auxquelles elle est exposée, si c'est par exemple une bouteille à champagne.

Disons un mot seulement des fours et des creusets dans lesquels le verre est fondu. Ces fours, ces creusets doivent être faits avec des matériaux presque infusibles, réfractaires, c'est-à-dire ne fondant pas à la température de fusion du verre. Pour les verreries fines, même pour les bouteilles (et la verrerie de la Vieille-Loye, de MM. Tumbeuf neveu et neveu, est encore dans ce cas), on employait du bois pour le chauffage, et, il faut le dire, c'est encore le meilleur des combustibles, mais le prix en est trop élevé. On l'a remplacé par la houille, bien plus, par le gaz de la houille, non pas le gaz d'éclairage que vous connaissez, mais le gaz que l'on appelle oxyde de carbone, gaz chauffant et non éclairant. Aujourd'hui on travaille, on étudie beaucoup la question des fours, car il est important, surtout pour la bouteille, que l'on doit vendre si bon marché, d'arriver à économiser le combustible. Il existe des fours dans lesquels les creusets sont remplacés par des bassins, c'est-à-dire de grands réservoirs contenant le verre; au lieu de marcher par intermittence, c'est-à-dire en renfournant les matières et les fondants pour les travailler ensuite, on a étudié des fours à *marche continue*, qui donneront une économie de plus de moitié; par ce nouveau procédé, les renfournements s'effectuent en même temps que la fusion et le travail du verre. Cette modification a été faite par M. Siemens, ingénieur à Dresde, et l'application de ce four est tentée, réussie même déjà en France, grâce à l'intelligente persévérance de M. Petrus Richarme, l'un de nos plus habiles verriers français. Je devais faire cette digression, pour terminer de suite ce que j'avais à dire des fours, et je reviens au verre ordinaire, celui avec lequel on fabrique les verres à vitres, les glaces, et même ce que l'on appelle la gobeleterie fine, une des branches de la verrerie qui a fait depuis la dernière Exposition les plus notables progrès.

Verre ordinaire à la soude. — De quoi se compose ce verre, cette vitre, cette glace? (M. Clémandot montre ces produits.) De silice, de chaux et de soude. Il faut, pour que le verre soit le plus blanc possible, que tous ces matériaux soient purs, c'est-à-dire exempts de fer. Permettez-moi d'ajouter, pour que ma démonstration soit plus saisissante, que, pour faire le verre, il suffit d'un pavé pilé, d'un morceau de moellon et d'un seau d'eau de mer; avec le pavé vous avez le sable, avec le moellon la chaux, avec le seau d'eau de mer la soude.

Verre de Bohême. — On fabrique aussi un verre très blanc, très pur,

dont voici des échantillons pris dans l'exposition de M. Lobmeyr, de Vienne (Autriche), en remplaçant la soude par la potasse.

Cristal. — Le cristal, le produit le plus riche, le plus beau de la verrerie, se compose toujours de silice et de potasse; mais, au lieu de chaux, on introduit l'oxyde de plomb, le minium, qui transmet au verre de la fusibilité et en même temps un brillant, une réfringence présentant un aspect diamantaire magnifique. Nous retrouvons donc dans ce verre la silice, base de toutes les matières vitrifiées, et le plomb, métal que tout le monde connaît.

Permettez-moi d'insister sur les sources auxquelles on puise la potasse; cela pourra vous intéresser. Prenez une betterave ou bien une plante, comme la fougère; prenez, à défaut, une peau de mouton; vous aurez les éléments nécessaires pour obtenir de la potasse. Comment cela se fait-il? C'est que l'homme sait tirer parti de tous les produits que la nature lui présente. La betterave, par exemple, est un végétal qui absorbe la potasse dans le sol où il a été planté; retirez d'abord le sucre du jus de cette betterave, et dans les derniers produits de la mélasse vous trouverez, en les brûlant, de la potasse, que vous séparerez par lixiviation. Cette fougère (c'est de là qu'est venu le nom de verre de fougère), si vous la brûlez, vous trouverez aussi dans les cendres la potasse, car la fougère, de même que la betterave, est une plante qui puise dans le sol une grande quantité de potasse; il en est ainsi de la vigne. Enfin cette peau de mouton, dont nous avons parlé, comment se fait-il qu'elle contienne de la potasse? Parce que le mouton, en cela plus habile même que les chimistes, sépare, dans l'herbe qu'il mange, la soude de la potasse et s'assimile la soude; au contraire il rejette la potasse dans la sueur, et l'on retrouve celle-ci dans le suint en le calcinant et en lessivant les cendres qui en résultent.

Je me résume relativement à la composition du verre et du cristal : ils ont tous pour base la silice, qui y entre pour 60 à 75 p. 0/0, et toutes les matières dont je vous ai signalé l'origine. Je ne dois pas passer sous silence ce verre d'une transparence, d'une limpidité, d'une blancheur remarquables, fait en 1850 à la cristallerie de Clichy; ici le plomb était remplacé par le zinc, dissous à l'aide de l'acide borique ajouté à la composition.

Verre à vitre de chaux et de soude. — Comme je vous l'ai dit, un des emplois les plus considérables du verre à base de chaux et de soude est la fabrication des feuilles de verre avec lesquelles on fabrique les vitres. On cherche les sables et les produits les plus purs, c'est-à-dire exempts de fer. On souffle de grands cylindres que l'on coupe ensuite en deux, et que l'on étale dans un four dit *à étendre,* en les aplatissant.

Souvent ces verres à vitre ont l'inconvénient, une fois mis en place, de se détériorer, de s'iriser. Pour obvier à cet inconvénient, M. Renard, un

des principaux fabricants de verres à vitres du Nord, a imaginé de tremper ces feuilles, au sortir du four à étendre, dans un bain légèrement acidulé. Cette opération suffit pour détruire un excès d'alcali qui est la seule cause à laquelle est due cette irisation.

Glaces. — C'est avec le même verre que l'on fabrique les glaces. Là, pas de main-d'œuvre de l'ouvrier verrier; une fois le verre fondu, on sort le creuset du four, on verse son contenu sur une table en fonte, on fait passer un rouleau qui lamine le verre, et c'est ainsi qu'ont été obtenues ces magnifiques glaces qui figurent à l'Exposition, celle entre autres des usines de Saint-Gobain, qui mesure 27 mètres carrés de surface. La glace brute pesait 1,200 kilogrammes; une fois dégrossie, polie par des procédés qu'il serait trop long de vous expliquer, elle ne pèse plus que 700 kilogrammes. C'est la plus grande glace qui ait été produite; plus grande, elle n'eût pu être apportée, il aurait été impossible de la faire passer sous les voûtes et tunnels des chemins de fer.

Étamage. — Je n'ai pas à vous parler de l'étamage des glaces; ce serait m'éloigner de mon sujet. L'étamage dit au *mercure* était autrefois une opération dangereuse, insalubre pour les ouvriers qui la pratiquaient; on l'a remplacé par un procédé dit de *l'argenture,* dû au savant Liebig, mais qui n'a été réalisé pratiquement que par les procédés dits *procédés Petit-Jean.*

Gobeleterie. — C'est la fabrication du verre à base de soude et de chaux, ou même à base de potasse, qui donne lieu à des produits si parfaits souvent qu'ils peuvent être mis en parallèle avec ceux fabriqués en cristal.

Cristal. — Comme nous l'avons dit, le cristal est une combinaison de la silice, de la potasse et du plomb; chimiquement parlant, c'est un silicate double de plomb et de potasse. Voyez les expositions de Baccarat, de Clichy et de Pantin, de Sèvres, de l'Angleterre; jamais vous ne trouverez cristaux plus blancs, plus brillants, avec des formes plus riches, plus artistiques et plus variées. Ajoutez à la beauté de la matière les tailles les plus soignées, les gravures les plus merveilleuses qui nécessitent non pas des ouvriers, mais des artistes de premier mérite; vous aurez constaté les résultats les plus parfaits auxquels on puisse parvenir, en donnant à une matière presque sans valeur, on peut le dire, une valeur quelquefois inimaginable. On parle, dans les expositions anglaises, de carafes d'un prix de 25,000 à 30,000 francs.

Lustres. — Ces lustres magnifiques, dont les branches, les pendeloques, reflètent, comme le font les diamants, les mille lumières dont ils sont garnis, sont fabriqués nécessairement avec le cristal, c'est-à-dire avec le verre le plus réfringent possible.

Verres d'optique. — Puisque nous passons en revue les différents emplois du verre, n'oublions pas les verres destinés à confectionner les té-

lescopes, les lunettes photographiques, les prismes, les verres pour microscopes, etc. Ce sont des verres qui doivent être d'une grande pureté, car il ne faut pas que les rayons lumineux qui les traverseront soient déviés. Il faut deux verres pour constituer ce que l'on appelle un objectif : un flint (le verre lourd) et un cronn (le verre léger); le premier à base de plomb, très dense; le second à base de chaux. On arrive, par la juxtaposition de ces verres, à l'achromatisme ou, pour mieux dire, à éviter la décomposition de la lumière autour des objets examinés, c'est-à-dire *les franges colorées*. Mais pour parvenir à ce résultat pratique, il a fallu un verrier des plus habiles, qui sût réussir pratiquement ces verres homogènes. Ce verrier fut Guinand, qui eut l'idée première de remuer, de *brasser*, c'est le mot consacré, le verre fondu, exactement comme on remue un verre d'eau sucrée ou un verre de sirop. Cette belle industrie s'est continuée en France par M. Feil, le petit-fils de M. Guinand, qui a atteint dans cette industrie un tel degré de perfection, que c'est de chez lui que l'on tire maintenant tous les verres destinés à l'optique.

C'est encore sur du verre que l'on fait cette opération, on peut dire merveilleuse, exécutée par le savant et si regretté Gustave Froment, de la division d'un millimètre en 500 ou 1,000 parties. A quoi servent ces divisions? A mesurer les infiniment petits, à faire ce qu'on appelle les *micromètres*. A quoi un résultat semblable peut-il servir? Tenez, j'ai sous la main un fil de verre d'une finesse extrême; je vous dirai tout à l'heure comment on le fabrique et quelle en est la finesse. C'est en le mettant sur une des divisions du micromètre que l'on pourra savoir que ce fil de verre est 175 fois plus fin qu'un cheveu, 45 fois plus fin que le plus ténu fil de soie, qu'il mesure, en un mot, huit dixièmes de millimètre. Cette plaque que vous voyez portant ces divisions, c'est du verre, toujours du verre.

Décoration des verres. — Le verre est une matière qui se prête tout particulièrement à la décoration. Comme première décoration, j'ai à parler de la coloration. Comment a-t-elle lieu? En introduisant dans le verre (et quand je dis le verre, cela veut aussi bien dire le cristal) des oxydes colorants : du cobalt, du cuivre, du fer, de l'or, etc. etc. Ce verre rougi par l'or présente une bien grande singularité : il est incolore quand il est fondu; si on le refroidit brusquement, il reste toujours incolore; si on le réchauffe à une température plus basse, celle du ramollissement, la couleur rouge apparaîtra; et savez-vous quelle est la puissance de coloration de l'or, qui réside entièrement dans son extrême divisibilité? Voici un morceau de verre rougi; il est noir, tant sa coloration est intense. Eh bien! il y a 1/10,000 d'or dans ce verre, qui ne servira ensuite qu'à doubler du verre incolore pour obtenir une pièce colorée en rouge intérieurement ou extérieurement.

Gravure à l'acide fluorhydrique. — J'ai déjà parlé de la gravure sur verre à l'aide d'une petite meule; on peut aussi graver le verre à l'acide fluorhydrique, le seul acide pour ainsi dire qui attaque le verre à la température ordinaire; on le fait par des moyens indiqués par M. Kesler, moyens très économiques pratiqués par des hommes fort habiles, les Bitterlin, les Lémal, etc. C'est par de véritables décalques de papiers enduits de substances préservatrices que l'on opère; là où le verre est recouvert de la substance, l'acide n'attaque pas; la où il est à nu, il le dépolit. Voici encore de M. Kesler un produit très remarquable : c'est du fluorhydrate de potasse, avec lequel, à l'aide d'une plume de fer, on peut écrire sur le verre exactement comme avec de l'encre. Le verre porte en dépoli la trace des chiffres, écritures ou dessins que l'on y aura tracés.

Voyez aussi ces portraits à tons différents, faits sur des verres doublés, au moyen d'attaques plus ou moins ménagées du verre; ces curieux résultats sont obtenus par M. Williaume, un des hommes les plus habiles dans ce genre de fabrication.

Irisation. — Vous avez pu remarquer, dans les expositions anglaise et allemande, des pièces de verrerie recouvertes d'une coloration analogue à celle des bulles de savon; c'est le produit d'une buée, d'une vapeur déposée sur le verre encore chaud et avant la mise dans le four à recuire. Cette vapeur n'est autre que celle produite par la vaporisation d'un mélange de protochlorure d'étain, de carbonate de baryte et de carbonate de strontiane. L'origine de ce procédé est bizarre : on raconte que, chez un fabricant de Bohême, M. Zahn, les ouvriers, voulant fêter son arrivée, illuminèrent, allumant des feux de Bengale jusque dans les fours à recuire; les pièces qui sortirent du four se trouvèrent toutes irisées. Ces couleurs sont fort belles, fort variées, comme vous voyez, mais elles ne sont pas absolument solides et disparaissent si on les frotte durement.

Nacré-irisé. — Ici l'irisation est toute différente : le verre est nacré et il a des irisations analogues à celles des coquilles; c'est le résultat d'une étude que nous avons entreprise, M. Fremy et moi, pour constater l'action des divers agents chimiques, l'acide chlorhydrique, entre autres, sous une pression de 4, 5, 6 atmosphères; on arrive de la sorte à reproduire de véritables nacres; on approche aussi de l'imitation de ces verres magnifiques, irisés par le temps, dont on trouvera dans l'exposition rétrospective des échantillons de toute beauté.

Quels sont ces effets d'irisation? la formation des lames minces qui, comme sur l'aile du papillon, la gorge du pigeon, etc., produisent ce que l'on appelle les interférences du rayon lumineux, sa décomposition spectrale. Voici de petits cubes mosaïques qui présentent de magnifiques colorations; ce sont des verres qui proviennent d'un temple de Vénus, construit dans l'île de Capry, sur une plage incessamment battue par l'eau de la

mer, où se trouvent les ruines contenant ces mosaïques qui présentent ces belles irisations.

Dévitrification du verre. — Entre autres altérations que le verre peut subir, il y a ce que l'on appelle la dévitrification : c'est la séparation des produits vitreux, analogue à celle qui a lieu quand un sel se sépare par cristallisation du sel saturé qui lui a donné naissance. M. Péligot a étudié un échantillon semblable à celui que j'ai l'honneur de vous présenter, et avec le soin scrupuleux que ce savant apporte à toutes ses recherches, il a trouvé que ce produit différait, comme composition, de l'*eau mère* du verre dans lequel il s'est formé; il contient plus de magnésie et moins de soude; c'est un échantillon remarquable d'un silicate double de chaux, de soude et de magnésie, provenant d'un four à bouteilles à bassin, construit à Blanzy par M. Videau, ingénieur, et sur mes conseils.

Décoration des verres. — On a dû nécessairement songer à décorer le verre comme on le fait, en céramique, pour la porcelaine, la faïence, etc. On le dore, on le peint avec des émaux, et les Brocard, les Brunetti, présentent à l'Exposition des échantillons d'un grand effet.

Produits vénitiens. — J'arrive maintenant à toute une classe d'objets très remarquables, ce sont ceux exposés par les Vénitiens. Le docteur Salviati et une Compagnie, celle des produits de Venise, ont exposé la reproduction des spécimens les plus beaux de l'art ancien de Venise; ces produits sont des plus intéressants; il faudrait assister à leur fabrication pour comprendre les tours de main ingénieux et habiles employés pour les produire, et qu'il serait trop long d'expliquer ici.

Aventurine. — L'aventurine, ce produit si bizarre, n'est autre chose qu'un verre à base d'oxyde de *cuivre,* réduit par un verre réducteur à base de fer. C'est en 1720 qu'elle a été découverte par hasard, dit-on, par Vincinzo Miotti. Nous avons, il y a plus de trente ans, fait, avec M. Fremy, de l'aventurine; nous n'avions obtenu que des échantillons de quelques kilogrammes. Ce n'étaient que des expériences, à proprement parler, de laboratoire.

M. Monot, l'habile fabricant de cristaux de Pantin, présente cette année de véritables blocs d'aventurine travaillée, doublée sur le verre, etc., identiques, on peut dire, à l'aventurine de Venise. C'est donc un résultat heureux, qui fait honneur à celui qui l'a produit, qui fait aussi honneur à la France, et nous sommes heureux de le constater.

Verres de Venise. — Voici maintenant des échantillons de ces verres obtenus par des recollements et des superpositions de verres, pour lesquelles il faut utiliser l'adresse de verriers incomparablement habiles. Voici ces verres filigranés, fabriqués au moyen du recollement de baguettes étirées contenant dans leur intérieur des fils d'émail d'une finesse inouïe résultant de l'étirage de ces baguettes.

Voici ces *millefiori,* composés de mosaïques formées par le moulage de l'émail du verre; cette matière est si docile, si malléable, qu'on en fait jusqu'à des portraits en plaçant des émaux colorés sur des dessins, en ramollissant le tout, en l'étirant, en l'allongeant.

Tels sont ces presse-papier dont l'exposition vénitienne nous offre tant de modèles.

Verres filés. — Voici des tissus de verre formés par l'étirage de baguettes, dont on produit pour ainsi dire l'allongement indéfini en les étirant sur un rouet de $4^{m},20$ de diamètre, qui fait 60 tours par minute et qui peut donner avec 100 grammes de verre des fils de 25 kilomètres de long (plus de 6 lieues), fils que l'on peut tisser, tresser comme de la soie ou de l'osier.

Verres creusés. — Voici des objets qui sont la reproduction exacte des anciennes pièces de Venise fabriquées par les mêmes procédés, qui consistent à former des espèces de *pudings* de verres massifs, que l'on taille, que l'on creuse exactement comme on creuse un bloc de bois massif pour en faire une *sébile,* un *sabot.* C'est un procédé semblable à celui que l'on employait pour creuser un bloc de cristal de roche, une pierre dure quelconque, et il n'y avait pas d'autre moyen avant que l'on connût le procédé du soufflage du verre.

Laine de verre. — Voici encore un produit des plus curieux: c'est de la laine, de la soie de verre, on peut dire; ce sont ces fils si ténus, si fins, dont je vous ai parlé en vous décrivant le *micromètre.* C'est un Français, M. Brunfaut, qui, établi à Vienne, a constitué une véritable industrie, continuée par sa femme et sa fille, qui m'ont fourni ces admirables échantillons.

Vitraux. — Il me reste à parler des vitraux, puisque, considérés comme verre, ils ont été placés dans la classe 19, celle de la verrerie. M. Didron, le peintre verrier habile qui a bien voulu assister à cette conférence, serait bien plus apte que moi à vous expliquer tous ses procédés. Je me bornerai à vous dire que, contrairement à ce que l'on suppose, la peinture sur verre ne consiste pas à enluminer, à placer des couleurs sur des feuilles de verre incolore, mais bien à prendre des feuilles de verre colorées sur lesquelles le peintre verrier n'a qu'à dessiner des contours, des ombres, au moyen d'émaux, d'espèces de *sépia* formées d'oxyde de fer, de cuivre fondu dans un émail que l'on vitrifie ensuite en le repassant au feu. C'est avec tous ces morceaux de verre, diversement teintés, que l'on forme toutes ces mosaïques, réunies ensuite au moyen de lamelles de plomb. Voyez, dans le vestibule de l'École militaire, dans la galerie du travail de l'Exposition, les belles verrières exposées par M. Didron.

Je n'en finirais pas, Messieurs, si je devais passer en revue tous les spécimens que vous avez sous les yeux; si j'étais obligé d'entrer dans tous les détails de fabrication, qui varient, on peut presque dire à l'infini;

le verre est, en un mot, une des matières les plus rebelles quand il est dur et quand il est froid; mais, quand il est encore chaud, encore malléable, il se prête à toutes les manipulations imaginables.

Verre trempé. — Je veux employer le peu de temps qui me reste à vous parler du verre *trempé,* appelé si improprement verre *incassable;* c'est verre *moins cassant* qu'il faut dire.

C'est à M. de la Bastie que l'on doit ce précieux résultat, déjà connu, dit-on, mais auquel, dans tous les cas, on n'avait attaché aucune importance. M. de la Bastie, témoin des phénomènes particuliers dus à l'état du verre trempé, s'y est arrêté, en a étudié les phénomènes et a rendu un service que je signale aux hommes d'étude, aux penseurs et aussi aux verriers, lesquels pourront un jour tirer grand parti du progrès déjà réalisé.

Qu'est-ce que le verre trempé? C'est un verre refroidi, durci dans des conditions particulières. On prend le verre ou le cristal au moment où il a la forme définitive qu'il doit avoir, puis on le *trempe,* en le jetant dans un bain de graisse chaude, la plus chaude possible, 150, 160, 200 degrés de température. Je dis la plus chaude possible, parce que, pour moi, la théorie est celle-ci : le groupement moléculaire s'opère d'autant mieux qu'il se rapproche davantage du groupement qui produit l'élasticité; or, pour cela il convient qu'il y ait le moins d'écart possible entre la température du bain de trempe et celle du verre encore mou.

Larmes bataviques. — L'étude de ce que l'on appelle la *larme batavique* nous aidera à expliquer le problème du verre trempé. Qu'est-ce que la larme batavique? C'est une goutte de verre liquide jetée brusquement dans l'eau froide; le verre prend alors la forme d'une larme, que l'on pourra frapper fortement sans la casser, mais qui se brisera en poudre si l'on détache l'appendice effilé, la queue de cette larme. Eh bien! la larme batavique ainsi formée est le verre le plus cassant qui existe. Si l'on essaye de faire une larme batavique dans le bain de trempe de la Bastie, cette larme sera beaucoup moins cassante: on pourra casser la queue de cette larme sans qu'elle se brise; il n'y aura qu'un point plus rapproché de la partie renflée de la larme où le bris aura lieu. Nous pouvons donc conclure de là que la température du bain n'est pas indifférente pour remplir les conditions plus ou moins grandes de solidité du verre. Je m'arrête, car je ne veux pas me lancer dans une dissertation sur la question du verre trempé; ce sont les études faites par M. de Luynes à ce sujet qu'il faut consulter. Avec sa sagacité, sa science profonde, M. de Luynes s'est livré sur la matière aux recherches les plus intéressantes et les plus utiles.

Je vais donc me borner à faire sous vos yeux quelques expériences qui vous prouveront que le verre, dit *verre trempé,* ou mieux *durci,* est moins cassant que du verre refroidi, recuit à l'air, c'est-à-dire dans les conditions ordinaires.

Voici trois gobelets portant une marque; en voici trois autres qui n'e.. ont pas. Les premiers ont été refroidis dans l'huile; les autres l'ont été dans le four à recuire. Si nous plaçons ces six gobelets dans une boîte, que nous agiterons, les trois verres trempés devront ne pas se casser; les trois autres seront brisés. (L'expérience a lieu et réussit. — Applaudissements.)

Je prends maintenant cette plaque de verre. Je jette dessus une balle de plomb de 200 grammes, à un mètre de hauteur; la plaque ne se brise pas; à $1^{m},50$, elle ne se brise pas encore; à 2 mètres, la brisure a lieu.

Il est donc certain que le verre la Bastie est moins cassant que tout autre; il est incontestable que cette invention est bien française; elle constitue un grand progrès, dont l'expérience améliorera encore les procédés. Mais ce que je tenais à dire, c'est que M. de la Bastie a rendu un très réel service, qu'il a donné un sujet d'études aux savants, je dirai presque aux philosophes, qui n'ont pas besoin d'attendre le succès absolu pour glorifier les résultats déjà acquis; à tous ceux, enfin, qui se rappellent que toute invention, à sa naissance, rencontre des difficultés et ne peut atteindre du premier coup à la perfection.

Ajoutons qu'il n'est pas impossible de prévoir que de la trempe du verre jailliront peut-être un jour des observations utiles et intéressantes au point de vue de la trempe de l'acier.

J'ai fini, Messieurs, c'est-à-dire que j'ai ébauché rapidement tout ce qu'il y avait à dire sur le verre, sa fabrication, ses applications; il m'aurait fallu trois et même quatre conférences pour entrer dans tous les détails relatifs à la production de tous ces objets, si multiples et si variés. Je souhaite qu'après m'avoir entendu, vous arriviez plus facilement à vous rendre compte de la fabrication de tous les produits de la verrerie que présentent les expositions de France, d'Angleterre, d'Autriche, etc. etc.

Si j'y suis parvenu, ma tâche n'aura pas été inutile; mais ce résultat vous le devrez surtout à l'attention bienveillante que vous m'avez prêtée, bien plus qu'au savoir que j'ai pu mettre à la disposition de ceux qui m'ont appelé à l'insigne honneur de vous entretenir et de faire passer sous vos yeux ces mille merveilles de notre industrie nationale et de celle des laborieux et savants étrangers, qui sont en ce moment les hôtes bienvenus de la France! (Applaudissements.)

La séance est levée à 3 heures et demie.

Voici trois gobelets portant une marque; en voici trois autres qui n'en ont pas. Les premiers ont été refroidis dans l'huile; les autres l'ont été dans le four à recuire. Si nous plaçons ces six gobelets dans une boîte, que nous agiterons, les trois verres trempés devront ne pas se casser; les trois autres seront brisés. (L'expérience a lieu et réussit. — Applaudissements.)

Je prends maintenant cette plaque de verre. Je jette dessus une balle de plomb de 200 grammes, à un mètre de hauteur; la plaque ne se brise pas; à 1m,50, elle ne se brise pas encore; à 2 mètres, la brisure a lieu.

Il est donc certain que le verre la Bastie est moins cassant que tout autre; il est incontestable que cette invention est bien française; elle constitue un grand progrès, dont l'expérience améliorera encore les procédés. Mais ce que je tenais à dire, c'est que M. de la Bastie a rendu un très réel service, qu'il a donné un sujet d'études aux savants, je dirai presque aux philosophes, qui n'ont pas besoin d'attendre le succès absolu pour glorifier les résultats déjà acquis; à tous ceux, enfin, qui se rappellent que toute invention, à sa naissance, rencontre des difficultés et ne peut atteindre du premier coup à la perfection.

Ajoutons qu'il n'est pas impossible de prévoir que de la trempe du verre jailliront peut-être un jour des observations utiles et intéressantes au point de vue de la trempe de l'acier.

J'ai fini, Messieurs, c'est-à-dire que j'ai ébauché rapidement tout ce qu'il y avait à dire sur le verre, sa fabrication, ses applications; il m'aurait fallu trois et même quatre conférences pour entrer dans tous les détails relatifs à la production de tous ces objets, si multiples et si variés. Je souhaite qu'après m'avoir entendu, vous arriviez plus facilement à vous rendre compte de la fabrication de tous les produits de la verrerie que présentent les expositions de France, d'Angleterre, d'Autriche, etc. etc.

Si j'y suis parvenu, ma tâche n'aura pas été inutile; mais ce résultat vous le devrez surtout à l'attention bienveillante que vous m'avez prêtée, bien plus qu'au savoir que j'ai pu mettre à la disposition de ceux qui m'ont appelé à l'insigne honneur de vous entretenir et de faire passer sous vos yeux ces mille merveilles de notre industrie nationale et de celle des laborieux et savants étrangers, qui sont en ce moment les hôtes bienvenus de la France! (Applaudissements.)

La séance est levée à 3 heures et demie.

PALAIS DU TROCADÉRO. — 31 JUILLET 1878.

CONFÉRENCE SUR LA MINOTERIE,

PAR M. VIGREUX,

PROFESSEUR À L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES.

BUREAU DE LA CONFÉRENCE.

Président :

M. ARMENGAUD aîné, ingénieur civil.

Assesseurs :

MM. Ernest CHABRIER, ingénieur civil.
CLÉMANDOT, ingénieur civil.
Michel COGNIET, juge au Tribunal de commerce de la Seine.
POLLOK, délégué du gouvernement des États-Unis pour la revision des tarifs douaniers.
Ch. THIRION, ingénieur civil, secrétaire du Comité central des Congrès et Conférences de l'Exposition de 1878.

La séance est ouverte à 2 heures.

M. ARMENGAUD aîné, *président.* Mesdames et Messieurs, en l'absence de M. Tresca, retenu par ses devoirs de président de groupe du jury des récompenses, je me trouve appelé à l'honneur de présider cette conférence, et, avant de donner la parole à M. Vigreux, qui va exposer devant vous les progrès réalisés dans la *minoterie* depuis un certain nombre d'années, je vous demande la permission de vous dire quelques mots du but véritablement utile et intéressant de la conférence que vous allez entendre.

Si, aux Expositions précédentes, on regrettait que l'industrie minotière fût peu représentée sous le rapport matériel, il n'en est pas de même aujourd'hui. Les moulins à blé et les appareils qui s'y rattachent sont, en effet, nombreux cette année, aussi bien dans les galeries étrangères que dans les galeries françaises.

Il est vrai que depuis quelque temps il a été apporté dans cette branche essentielle de la mécanique des modifications notables, telles qu'elles constituent de véritables innovations. Et si les dernières combinaisons qui ont

été proposées réussissent, comme l'espèrent leurs auteurs, ce ne sera rien moins qu'une révolution dans l'art de la meunerie.

D'un côté, on a fait des progrès considérables dans la fabrication des meules, que les procédés mécaniques rendent plus parfaites en même temps qu'elles fatiguent moins l'ouvrier; de l'autre, on produit de plus belles moutures, on obtient de meilleures farines, grâce aux persévérantes recherches des manufacturiers instruits et intelligents qui se sont ad onnés à cette importante industrie, grâce aussi à la science, qui se trouve partout où elle se croit utile, et grâce aux ingénieurs, aux mécaniciens, qui dirigent toutes leurs études, toutes leurs investigations vers le beau idéal de la perfection.

La parole est à M. Vigreux sur la minoterie française et étrangère.

M. Vigreux. Messieurs, parmi les industries qui ont pour objet l'alimentation, la minoterie est, sans contredit, la plus ancienne et l'une des plus importantes.

En raison même de son ancienneté, c'est à elle que la mécanique a prêté le plus rapidement son concours pour la dispenser de recourir à la main de l'homme autrement qu'en vue de constater la qualité des matières premières employées et celle des produits fabriqués, et enfin pour régler la marche des appareils entièrement automatiques qui constituent les moulins à blé. Bien loin de remonter au déluge, je n'entreprendrai même pas de vous énumérer la série des perfectionnements que l'art du minotier a subis depuis cinquante ans. Je me contenterai de vous présenter, dans un ordre méthodique, l'état actuel des procédés et des appareils de cette industrie, tel qu'il résulte des spécimens figurant dans l'Exposition actuelle et que vous pouvez avoir tous les jours sous les yeux.

Nous nous occuperons spécialement de la partie de cette industrie qui concerne les céréales, en prenant comme type le blé.

Trois opérations principales constituent l'art du minotier :

1° Le nettoyage du grain;

2° La mouture proprement dite;

3° La classification des produits fabriqués, comprenant le blutage et le sassage.

Il en résulte trois catégories d'appareils que nous allons passer successivement en revue.

Mais auparavant je dois vous dire quelques mots des moyens employés dans les grandes minoteries du commerce pour le déchargement des blés et leur mise en magasin.

Ces grands établissements sont généralement situés soit sur un canal, soit sur un cours d'eau navigable. Les blés y arrivent en bateau. Les docks

ou magasins des moulins doivent être établis sur le bassin même où les bateaux arrivent pour être déchargés. Les étages supérieurs des docks sont consacrés à l'emmagasinage du blé, et les étages inférieurs à celui des produits du moulin.

Le moyen le plus simple pour élever le blé des bateaux aux étages supérieurs des docks consiste dans l'emploi d'une *noria* ou chaîne à godets, qui prend le blé dans les bateaux et l'élève verticalement à la hauteur voulue; de là, une vis ou chapelet horizontal le distribue sur la superficie des magasins qu'il doit occuper. Au moulin de Prouvy, près Valenciennes (Nord), les bateaux sont déchargés au moyen de grandes *norias* qui élèvent chacune, par heure, 20 tonnes de blé. On peut donc, dans une journée de 10 heures de travail, décharger un bateau contenant 400 tonnes de blé.

Dans le moulin de Don, près de Lille, où les appareils sont plus puissants, chaque *noria* est susceptible d'élever 40 tonnes de blé à l'heure.

Un autre moyen de décharger automatiquement les bateaux et d'emmagasiner le blé est représenté dans la grande galerie des machines de l'Exposition (section française); c'est l'élévateur Renhaye, dont les inventeurs sont MM. Renard et de la Haye. Dans cet appareil, l'élévation est obtenue par le moyen d'un violent courant d'air. Voici en quoi il consiste en principe :

Au-dessus du plancher sur lequel le grain doit être emmagasiné, on établit un vase cylindrique terminé, à sa partie inférieure, par un tronc de cône fermé au moyen d'une soupape équilibrée par deux contre-poids, un de chaque côté. La partie supérieure du vase communique par un tube avec l'intérieur du bateau à décharger; vers le milieu de la hauteur du vase, part un deuxième tuyau qui est mis en communication avec l'ouïe d'un ventilateur aspirant, ou plutôt, dans la machine que vous verrez à l'Exposition, il y a deux ventilateurs du système Perrigault aspirant l'un dans l'autre; le premier ventilateur aspire dans le vase, et le second dans le premier ventilateur.

On obtient par cette disposition une dépression de l'air plus grande; elle peut atteindre jusqu'à 75 centimètres d'eau; le vide relatif produit dans le vase cylindrique détermine, par le bas du tube qui plonge dans le bateau, un courant d'air très violent qui entraîne le blé. Dans ce mouvement d'ascension, le blé, les poussières et tous les corps étrangers qui l'accompagnent, sont mis en mouvement avec une grande rapidité, et le blé est en partie nettoyé. Les insectes de toutes sortes, les charançons, qui peuvent exister dans le grain, se trouvant très mal de ce bouleversement, sont en partie tués, et les grains en sont ainsi débarrassés. Le bon blé, ainsi que les graines lourdes qui l'accompagnent, tombent dans le fond du vase, tandis que les parties légères sont aspirées par les ventilateurs et entraînées dans le tube qui les réunit au vase cylindrique. Cet assainissement du blé

est le seul avantage que je reconnaisse à l'appareil Renhaye, car son rendement mécanique est très faible. Si nous admettons, d'après le tarif même du constructeur, que l'appareil élève environ 20 tonnes par heure à une hauteur moyenne de 20 mètres, le travail effectif produit est de 400,000 kilogrammètres par heure; ce qui correspond à 111 kilogrammètres par seconde. La machine motrice nécessaire pour actionner les ventilateurs doit avoir une puissance de 10 chevaux, c'est-à-dire de 750 kilogrammètres par seconde; le rendement de l'appareil est donc de 14 à 15 p. o/o seulement. Ce rendement mécanique est environ le cinquième de celui d'une *noria* ou chaîne à godets bien établie.

Il en résulte que les quatre cinquièmes du travail dépensé sont employés à produire un nettoyage incomplet, mais fort utile cependant.

Nous arrivons à la première série des opérations qui se font dans les moulins à blé du commerce, c'est-à-dire dans les moulins *à blanc*.

1° *Nettoyage*. — Jadis, le blé n'était nettoyé que dans le moulin, car on ne peut pas considérer comme un nettoyage le travail tout à fait insuffisant qui se faisait avec les anciens tarares de ferme. L'agriculteur a tout intérêt à nettoyer le mieux possible ses produits. Vous pourrez remarquer, dans les classes 51 et 76, de nombreux spécimens d'appareils de nettoyage beaucoup plus parfaits à l'usage des fermes. Un grand nombre de machines à battre sont munies de ces appareils et classent les céréales en diverses catégories, au moyen de trieurs. C'est un progrès considérable, qui a déjà été constaté en 1867, mais sur une échelle beaucoup moins étendue qu'aujourd'hui.

Le but du nettoyage est le suivant :

1° Séparer du bon blé les corps étrangers, les grains maigres ou avariés;

2° Enlever les poussières qui souvent sont attachées au grain de blé et qui seraient nuisibles à la qualité de la boulange; ces poussières sont retenues le plus souvent dans les poils nombreux dont est garnie l'extrémité du grain opposée à celle où se trouve placé le germe ou embryon.

En troisième lieu, il faut encore quelquefois détacher l'enveloppe extérieure du grain. Cette enveloppe, ou *péricarpe* sec, est un tissu de cellulose très résistant, presque imputrescible et, par conséquent, impropre à l'alimentation.

Par la décortication, on peut débarrasser le blé de cette enveloppe, qui ne souille plus alors ni la farine ni le son.

Ceux d'entre vous, Messieurs, qui ont observé comment l'oiseau mange une graine ont pu remarquer que, lorsqu'il a pris cette graine dans son bec, il la retourne vivement en tous sens, en lui donnant une série de petits chocs multipliés et en l'humectant en même temps avec la langue :

cette opération sert à détacher le péricarpe sec, et lorsqu'il est enlevé, l'oiseau avale la graine.

J'insiste sur ce détail, parce que c'est précisément sur le même principe qu'est basée une machine à décortiquer le blé exposée à tort dans la classe 76. Pour ne rien perdre des parties nutritives du grain, il ne faut pas pousser le décorticage au delà de la limite que je viens d'indiquer; c'est là le *desideratum*.

Les deux premières opérations qui constituent le nettoyage, c'est-à-dire la séparation du bon blé d'avec tous les corps étrangers et, en second lieu, l'enlèvement des poussières, s'effectuent au moyen d'appareils spéciaux. Les uns sont fondés sur la différence de forme et de grosseur qui existe entre le bon blé et les graines qui l'accompagnent; les autres reposent sur la différence de densité des corps mélangés.

L'application des effets résultant d'une seule de ces circonstances ne suffit pas pour obtenir le nettoyage complet; et, pour vous le montrer, je vais vous décrire l'ensemble des appareils constituant un nettoyage complet, que vous pouvez vous-mêmes, d'ailleurs, voir fonctionner à l'Exposition dans la classe 52 (annexe parallèle à l'avenue de la Bourdonnaye); ces appareils sont exposés par M. Hignette. Les machines que vous verrez fonctionner peuvent traiter environ 15 hectolitres de blé par heure, ce blé étant très pierreux, très sale et renfermant une grande proportion de graines étrangères.

Voici en quoi consiste l'ensemble d'appareils dont je viens de parler :

Le blé à nettoyer arrive dans une trémie portant une ouverture par laquelle le grain s'échappe; un levier horizontal, animé d'un mouvement de va-et-vient et placé dans cette ouverture, fait la distribution du grain; au-dessous se trouve placé un crible-émotteur : c'est un tamis à mailles très larges qui a simplement pour but de retenir les corps très gros; le blé et les graines étrangères pouvant passer à travers ce tamis, ainsi que les petites pierres, tombent sur un second appareil qui constitue l'*épierreur*.

Ce second appareil est formé d'une table inclinée de l'arrière à l'avant d'environ 1 centimètre par mètre. Cette inclinaison est naturellement variable avec l'espèce de grain à nettoyer et avec la quantité de pierres qu'il renferme. Cette table, pleine dans la première partie de sa longueur, présente vers le bas un crible à trous fins qui ne peut laisser passer que les parties plus petites que le blé; la table repose sur une caisse en bois qui fait corps avec elle et qui est complètement fermée; en projection horizontale, la table a la forme d'un trapèze; elle porte des saillies en forme de prismes triangulaires qui sont réparties sur toute sa surface; on lui imprime un mouvement de va-et-vient transversal assez modéré. Par suite de la pente de la table et de ce mouvement de va-et-vient, les corps étrangers, graines diverses, pierres, etc. qui constituent le mélange se superposent alors

par ordre de densité; les plus lourds descendent au fond, les plus légers arrivent à la surface. Les corps qui montent à la surface, c'est-à-dire le blé et les graines de même densité ou plus légères, viennent frapper contre les parois des prismes verticaux; il se produit ainsi une série de réflexions qui transportent les parties plus légères vers le côté le plus élevé de la table, tandis que les parties les plus lourdes, restant au fond de la caisse, éprouvent beaucoup moins l'effet de ce mouvement de réflexion et cheminent suivant la pente; de telle sorte que les corps lourds viennent s'accumuler sur la partie basse de la table, d'où ils s'échappent par une ouverture pratiquée à son extrémité; les corps légers, ainsi que le blé, sortent au contraire par la partie la plus élevée.

Cet appareil, déjà connu depuis longtemps, figurait à l'Exposition universelle de 1867 : c'est l'épierreur de M. Josse.

J'ajoute que les parties plus fines et plus denses que le blé viennent tomber, à travers le crible qui forme la partie basse de la table, dans une caisse, d'où un conduit les verse dans un sac. La poussière est en partie entraînée à travers ce tamis, au moyen d'une aspiration produite par un ventilateur qui fait partie de la seconde portion de l'appareil nettoyeur. Cette seconde portion, c'est le tarare-aspirateur ou tarare américain, importé en France par MM. Rose frères, constructeurs d'appareils de nettoyage et de bluteries, à Poissy. Voici en quoi consiste le fonctionnement du tarare américain :

Le blé et les graines mélangées avec lui, qui ont remonté la table, sortent par l'extrémité contiguë à la trémie d'alimentation et tombent dans une auge qui les verse dans une cheminée verticale. Il faut avoir soin que les graines soient étalées en couche mince en arrivant dans cette cheminée; on doit, par conséquent, réduire la largeur de sa section.

Cette cheminée communique avec une chambre dans laquelle on produit une aspiration, au moyen d'un ventilateur, c'est-à-dire une dépression. En raison de la dépression produite, et que l'on règle par une soupape convenablement chargée, s'ouvrant de dehors en dedans, les graines lourdes, entraînées par la pesanteur, tombent par la base de la cheminée, et, au contraire, les parties plus légères, dont le poids est inférieur à la résistance qu'elles éprouvent de la part de l'air, sont entraînées dans la chambre. Vous comprenez qu'en mettant plusieurs cheminées d'aspiration on peut classer les parties plus légères que le blé ou les graines de même poids, mais de formes différentes, par catégories, et l'on obtient ainsi plusieurs sortes de déchets dans lesquels on rencontre une certaine proportion de blé de qualité inférieure que le meunier pourra revendre, ou bien utiliser, s'il possède une ferme ou une basse-cour.

Les poussières qui sont attachées au grain de blé se trouvent en partie détachées dans sa chute et emportées avec l'air aspiré par le ventilateur,

qui les rejette dans une chambre spéciale qu'il est, en général, préférable d'établir en dehors du moulin.

La graine qu'abandonne le tarare-aspirateur tombe dans un conduit qui l'amène à la troisième partie de l'appareil. Mais je dois vous faire remarquer, avant d'arriver à l'étude de cette troisième partie, que l'aspiration produite dans la caisse placée sous l'épierreur s'effectue au moyen d'un tuyau qui fait communiquer l'intérieur de cette caisse avec la caisse aspirante du tarare américain. Il convient, comme l'a fait M. Hignette, de munir le ventilateur d'une seule ouïe, afin de ne pas avoir de division dans le courant d'air et d'éviter ainsi les remous qui laissent tomber des corps qui devraient être entraînés par l'air.

Le mélange qui tombe par la cheminée de l'aspirateur comporte : le bon blé, des graines de même grosseur que lui, et même des graines plus petites, qui n'ont pas pu en être séparées par l'action du tarare-aspirateur; vous voyez donc que, quand vous lisez dans les prospectus que le tarare-aspirateur pèse mathématiquement les grains dans le vide, il en faut rabattre; le nettoyage serait absolument incomplet s'il s'arrêtait à l'ouverture de la cheminée de chute; il faut, pour arriver à un bon résultat, le compléter par plusieurs autres opérations successives.

La première de ces opérations est le triage, qui a pour but de profiter de la différence de formes des graines, pour les séparer les unes des autres. Il y a longtemps que les appareils trieurs ont été imaginés. MM. *Pernollet* et *Vachon*, que tous les spécialistes connaissent parfaitement, ont été les promoteurs, les vulgarisateurs de ces appareils extrêmement précieux tant en agriculture qu'en minoterie.

Tous les appareils que l'on emploie aujourd'hui pour le nettoyage complet sont basés sur les mêmes principes que ceux imaginés par les constructeurs dont je viens de citer les noms.

L'un des trieurs les plus parfaits est celui de M. Marot, de Niort; il est plutôt applicable à l'agriculture qu'à la minoterie, parce qu'il fait un classement du blé qu'il n'est pas nécessaire d'opérer en minoterie.

Le trieur de M. Marot a pour but de retirer du blé marchand le blé de semence, que l'agriculteur doit toujours choisir le plus beau, le plus gros et le plus lourd possible, afin que la récolte suivante lui donne le meilleur rendement. Quant au principe de cet appareil, le voici en quelques mots :

Ce trieur est placé au-dessous de l'épierreur; au lieu de faire arriver directement le grain dans l'intérieur du cylindre trieur, M. Hignette a imaginé de le distribuer d'une façon uniforme, au moyen d'une roue à tympan, d'une sorte de danaïde; le blé tombe, par conséquent, dans une auge où vient puiser cette danaïde qui l'introduit d'une façon régulière et uniforme dans le cylindre trieur.

Pour que le triage soit aussi complet que possible, l'appareil doit être construit de la façon suivante :

D'abord, un cylindre en tôle, composé de plusieurs compartiments; le premier compartiment est formé par une tôle qui présente des alvéoles de forme et de dimension suffisantes pour loger le bon blé, sans que les graines plus grosses ni les petites pierres qui auraient pu échapper à l'action de l'épierreur puissent être retenues. On donne au cylindre un mouvement de rotation. Les parties qui ne peuvent pas se placer dans les alvéoles cheminent par la partie inférieure du cylindre, en vertu de la pente qui lui est donnée; elles trouvent alors dans la paroi du cylindre, et à l'extrémité de la première partie, une série d'ouvertures par lesquelles elles peuvent tomber dans la première case.

Le bon blé, au contraire, logé dans les alvéoles de l'enveloppe du cylindre, monte, et, à une certaine hauteur, est établi un chenal ou cuvette en tôle, dont l'un des bords se rapproche très près de la paroi du cylindre. Le blé, arrivé à une certaine hauteur, tombe dans cette cuvette. Cette partie de l'appareil est suspendue sur l'axe qui porte l'ensemble de la machine; dans le fond de la cuvette est montée une vis d'Archimède qui force les grains recueillis à descendre vers la partie la plus basse; ces grains vont donc tomber dans le deuxième compartiment du trieur.

Ce compartiment est formé de tôle emboutie, repoussée, dont les alvéoles sont rondes et permettent aux graines rondes de même grosseur que le blé, c'est-à-dire ayant un diamètre égal au diamètre transversal du blé, de se loger. Ces alvéoles ont une section hémisphérique; de telle sorte qu'une graine ronde s'y logera très bien, tandis que le grain de blé au contraire, qui est long et non sphérique, dépassera d'une quantité notable le bord de l'alvéole; il en résulte qu'il ne pourra pas y rester pendant la rotation du cylindre, tandis que les graines rondes le pourront parfaitement; elles seront donc reçues dans la deuxième cuvette placée à la suite de la première et faisant généralement corps avec elle.

Dans ce deuxième chenal est placée une deuxième vis sans fin. Le bon blé, après avoir cheminé dans la partie inférieure du cylindre trieur, vient tomber, par des ouvertures, sur une enveloppe cylindrique concentrique à l'autre. Cette enveloppe constitue un crible qui sert à classer le blé en catégories; la première partie du crible laisse tomber le blé marchand; la deuxième partie, le blé de semence, qui est plus gros; enfin, la dernière partie laisse tomber les corps plus gros que le blé qui n'en auraient pas été séparés par les opérations précédentes.

Parmi les graines qui sont recueillies dans la deuxième partie de la cuvette suspendue à l'axe du cylindre, se trouve une certaine portion de blé; or cette portion doit être reprise.

Elle est reprise au moyen de la troisième partie du trieur, et alors

tous les corps étrangers viennent tomber dans la quatrième case placée en dessous.

Je vous ai dit tout à l'heure qu'en minoterie il n'est pas nécessaire de faire un classement complet; aussi l'appareil que vous verrez fonctionner dans la classe 52 est-il construit plus simplement: il ne comporte que deux divisions, servant à donner séparément le bon blé, qui n'est pas absolument purifié de tous les corps étrangers, et, d'un autre côté, le petit blé et les mauvaises graines primitivement mélangées au blé.

Suivant la nature des graines qu'on veut faire tomber dans cette cuvette fixe, il faut faire varier la position du bord de la cuvette.

Dans la plupart des cylindres trieurs exposés, les deux ou trois compartiments qui constituent le conduit du centre se règlent en même temps; ce n'est pas rationnel, puisque dans la première partie on doit faire tomber les graines de forme et de nature tout à fait différentes de celles que doit recevoir la deuxième. Aussi M. Hignette a-t-il eu raison, dans l'appareil qu'il a exposé, de partager ce conduit en deux parties se manœuvrant chacune indépendamment de l'autre; c'est là une amélioration réelle.

Le blé qui tombe du trieur n'est pas encore complètement nettoyé; il n'est pas encore débarrassé de toutes les poussières attachées à sa surface, ni de certaines graines étrangères; il faut donc lui faire subir un complément de nettoyage. Ce complément s'effectue dans une colonne dite épointeuse; c'est une modification de l'ancien tarare, ou brosse verticale des moulins.

La colonne qui fait partie de l'appareil que j'ai pris comme type, au point de vue de la description seulement, est imitée du nettoyeur décortiqueur de Fili, que beaucoup d'entre vous, Messieurs, connaissent certainement; mais elle présente cependant certaines modifications qu'il est utile, je crois, d'indiquer ici.

Cette colonne épointeuse est constituée par une série de troncs de cône, les uns fixes, les autres mobiles, placés alternativement l'un dans l'autre. Les troncs du cône mobile font partie d'un tambour calé sur un arbre vertical; la paroi de ce tambour est percée d'ouvertures qui permettent aux poussières de sortir. Extérieurement est monté un cylindre fixe sur lequel sont placés les troncs de cône fixes. Les troncs de cône sont en tôle crevée présentant des ouvertures dont les bavures font saillie comme celles d'une râpe à sucre par exemple; les bavures se regardent. Lorsque le grain tombe par la partie inférieure du trieur, il est repris par une chaîne à godets, et ramené à la partie supérieure de la colonne épointeuse.

Il tombe sur la face lisse du premier cône fixe, qui le délivre au premier cône mobile, le long duquel il est projeté par la force centrifuge développée en vertu du mouvement de rotation rapide de l'arbre vertical; dans

ce mouvement, la surface du blé se nettoie, et le nettoyage peut être assez énergique pour que la pointe du grain renfermant l'embryon soit enlevée. Le blé qui a passé dans le premier intervalle des cônes descend sur la surface interne du second tronc de cône fixe, remonte par le deuxième intervalle, et ainsi de suite; on a donc, avec un appareil d'une faible hauteur, une très grande surface brossante.

La paroi du cylindre fixe extérieur peut être formée d'une tôle percée de trous ou d'une série de cercles laissant entre eux des intervalles assez petits pour ne laisser passer que la poussière; cette partie annulaire communique avec l'aspirateur placé sous l'appareil. Le cylindre intérieur est monté sur un plateau qui en fait partie et qui forme le fond de l'appareil. Ce plateau présente un passage par lequel le grain passe pour s'écouler à l'extérieur, dans la cheminée verticale, où l'on produit une aspiration au moyen du ventilateur établi dans la caisse. Ce ventilateur, à axe vertical, est divisé en deux parties symétriques par un diaphragme horizontal sur lequel sont montées les palettes; ce qui est exactement comme si l'on avait deux ventilateurs séparés : à sa partie supérieure, la chambre du ventilateur communique avec l'intérieur du cylindre mobile et l'extérieur du cylindre fixe; la partie inférieure communique avec une cheminée verticale dans laquelle vient tomber le blé.

Au bas de cette cheminée est pratiquée une ouverture qui laisse passer le grain. Par suite de l'aspiration produite, le bon blé tombe à la partie inférieure, tandis que les poussières qui en sont détachées par l'action de la brosse et les petites graines, telles que l'avoine, qui ont été décortiquées en grande partie et qui sont plus légères que le blé, sont entraînées dans une caisse inférieure où aspire la seconde moitié du ventilateur. On obtiendra donc dans cette caisse un déchet qui renfermera peu de poussière.

Cette brosse, établie d'après les principes du nettoyeur de Fili, n'est pas le seul appareil qui existe dans ce genre à l'Exposition; vous trouverez même, au contraire, un grand nombre de brosses ou de colonnes épointeuses composées simplement d'un cylindre vertical en tôle crevée ou en toile métallique, contre la surface duquel le blé est projeté au moyen d'un arbre à palettes animé d'un mouvement de rotation très rapide.

C'est ainsi qu'est construite la colonne épointeuse de MM. Rose frères. Mais à hauteur et à diamètre égaux, il est incontestable que les appareils qui dérivent du nettoyeur de Fili présentent une surface brossante beaucoup plus grande et, par conséquent, produisent un travail plus considérable, ou bien encore, à égale surface, occupent moins de place et sont moins coûteux que les autres. Les anciens appareils de nettoyage occupaient généralement, dans les moulins, plusieurs étages, deux au moins.

Aujourd'hui plusieurs constructeurs ont modifié la disposition de leurs

nettoyages par l'adjonction d'un certain nombre d'élévateurs. Cette modification leur permet d'établir sur le même plancher tous les appareils servant à opérer le nettoyage du blé; il y a donc, de ce chef, une grande simplification dans l'installation. L'appareil nettoyeur complet que j'ai choisi pour vous faire cette description est justement établi sur un plancher unique. Une chaîne à godets, qui prend le grain tombant du cylindre trieur, l'élève à la hauteur de la colonne épointeuse placée en arrière.

Dans le pavillon du moulin batteur, situé en face de l'École militaire, vous verrez installé, au premier étage, un appareil complet de nettoyage, très bien disposé et construit par MM. Rose frères.

Dans la classe 52 (annexe parallèle à l'avenue de la Bourdonnaye), M. Dufour, de Dijon, expose également un appareil de nettoyage complet construit sur un plancher unique.

Les sections étrangères ne nous offrent pas de nettoyages aussi complets ni aussi bien combinés que ceux figurant dans la section française. Leur infériorité manifeste, lorsqu'on les examine attentivement, provient de l'insuffisance dans la combinaison et la multiplicité des effets dus aux deux circonstances que j'ai signalées en commençant, savoir: la diversité de forme et la diversité de densité dans les mélanges à nettoyer et à trier.

Je n'ai pas encore tout dit sur le nettoyage.

Cette opération est extrêmement importante, et de sa réussite complète, efficace, dépend en grande partie la qualité de la mouture, indépendamment de tout le reste.

Certains blés durs récoltés dans le midi de l'Europe, en Espagne, en Turquie, en Russie, en Afrique et dans l'Inde, renferment une très notable proportion de pierres; ces blés sont, en outre, extrêmement sales: ils contiennent des parcelles de terre très adhérentes et très difficiles à enlever par la série des opérations que je viens de vous décrire. La grande proportion de pierres que ces blés renferment provient, pour la majeure partie, de la façon dont ils sont battus dans ces divers pays.

On fait usage, pour nettoyer des blés aussi sales, d'un appareil qu'on appelle *laveuse de blé*. Le lavage est une opération préliminaire qui doit précéder le nettoyage proprement dit et le triage.

Dans la minoterie du rayon de Marseille, par exemple, où l'on traite beaucoup de blés durs, sales et pierreux, on fait usage de la laveuse de blé. Nous avons particulièrement remarqué, dans la classe 52, la laveuse de M. Maurel, qui présente une grande simplicité et un ensemble de dispositions à recommander.

Voici en quoi consiste la laveuse, comme principe, bien entendu, car il m'est impossible d'entrer dans les détails:

Le blé à laver descend, par un conduit incliné surmonté d'un cylindre émotteur, dans une caisse cylindrique portant un agitateur à palettes; vers

la partie inférieure de cette caisse, on fait arriver, par un tuyau, de l'eau sous une certaine charge. Le blé, arrivant dans cette caisse, est tenu en suspension dans l'eau; les parties plus lourdes, au contraire, tombent au fond de la caisse. Là une chaîne à godets vient les enlever constamment; il en résulte que le mélangeur est débarrassé automatiquement des pierres que renferme le blé.

Cette chaîne à godets rejette les pierres à la partie supérieure, et comme il se trouve toujours une certaine quantité de blé entraînée, les godets se vident par deux orifices différents. Le dessus des matières contenues dans les godets est la partie la plus légère, celle qui peut contenir les grains de blé; elle est rejetée par l'ouverture du haut; la seconde partie, qui ne contient que des pierres, est rejetée par la seconde ouverture. Le blé lavé est entraîné dans un conduit incliné qui le mène dans la chambre d'une roue à palettes.

Le coursier de cette roue forme crible ou plutôt tamis égoutteur; l'eau qui a entraîné le blé s'écoule par ce tamis, et le grain est lancé dans une colonne sécheuse et nettoyeuse. Cette colonne est faite de tôle percée de trous ou d'une toile métallique, avec une enveloppe extérieure. Dans cette colonne est monté un arbre vertical portant une série de palettes inclinées, de façon à relever le blé qui arrive. Le blé est donc pris par ces palettes, et, chassé de bas en haut et de proche en proche, il finit par remonter à la partie supérieure du cylindre, où il arrive après un séjour assez long pour être séché suffisamment.

Les avantages particuliers à cette machine sont le nettoyage automatique continu de la cuve mélangeuse et l'essorage produit par la roue à palettes. Cette roue à palettes forme en même temps un ventilateur, qui projette dans l'intérieur de la colonne sécheuse un volume d'air suffisant.

Dans la même classe, vous trouverez une laveuse-sécheuse exposée par MM. Demaux et fils, de Toulouse. Elle diffère un peu de la précédente. Elle se compose d'une trémie dans laquelle est placé un crible émotteur. C'est un cylindre animé d'un mouvement de rotation et qui retient les corps plus gros que le blé.

Le blé et les petites pierres passent à travers le crible émotteur et tombent dans un conduit qui les mène à une cuve mélangeuse analogue à celle dont je viens de parler; seulement le nettoyage de cette cuve ne se fait pas automatiquement: quand le fond est suffisamment garni de pierres, on est obligé de le vider à la main.

A la suite de cette cuve est établie une table inclinée portant un sablier analogue au sablier des machines à papier. Il est formé simplement par une série de traverses en bois qui reposent sur le fond du conduit; les pierres qui peuvent être entraînées restent sur le fond de la table, arrêtées qu'elles sont par les saillies. Le blé au contraire, en suspension

dans l'eau, est, en raison de la vitesse d'écoulement de cette eau, entraîné dans la première colonne sécheuse.

Cette colonne sécheuse est construite d'une façon identique à celle dont je viens de vous parler; le blé arrive par la partie inférieure de la colonne et est ramené à sa partie supérieure par des palettes inclinées animées d'un mouvement de rotation très rapide.

Mais ce premier essorage et ce premier séchage ne suffisent pas; on les complète au moyen d'une deuxième colonne, dans laquelle tourne un arbre vertical, armé de palettes planes et verticales : le blé y descend donc verticalement de haut en bas, et tombe dans la partie inférieure, d'où il est pris pour être soumis aux opérations complémentaires du nettoyage et du triage.

Une troisième laveuse sécheuse, figurant à côté des premières et exposée par M. Rebel, de Moissac, présente des dispositions plus simples, mais laisse quelque peu à désirer au point de vue des détails de construction.

Elle se compose d'une première partie, la cuve mélangeuse, dans laquelle est un agitateur; à la suite de la cuve mélangeuse, dont on peut enlever les pierres au moyen d'une porte, est établi un cylindre incliné, qui forme tamis d'égouttage. Dans ce cylindre se meut un arbre armé de palettes disposées en hélice. Le blé est projeté contre la surface du cylindre et conduit à l'extrémité, où se trouve un ventilateur aspirant, qui le sèche.

Malheureusement, aucune de ces trois machines ne fonctionne, de telle sorte qu'il n'est pas possible de juger ici de la perfection de leur travail.

Pour terminer ce qui concerne le nettoyage, j'aurai quelques mots à vous dire du décorticage.

Cette opération ne se fait pas toujours.

Le décorticage s'opère généralement au moyen de la brosse verticale dont j'ai déjà parlé, soit la brosse construite d'après le décortiqueur Fili, soit la brosse construite d'une façon analogue aux anciens tarares des moulins et dans lesquels on imprime à l'arbre vertical un mouvement de rotation beaucoup plus rapide que s'il s'agit simplement de brosser.

Là, au contraire, il faut, vous le savez, enlever le péricarpe sec qui entoure le grain de blé, et il faudrait se contenter d'enlever ce péricarpe, sans attaquer la couche immédiatement inférieure. Or, avec les appareils dont je viens de parler, ce résultat est rarement atteint. En général, l'épointage est trop prononcé; certains grains de blé sont brisés, et il en résulte un déchet relativement important.

Le procédé de décorticage auquel je faisais allusion en commençant et qui est dû à M. Boucher, de Paris, ne présente pas cet inconvénient. Voici en quoi consiste cet appareil, qui figure dans la classe 76 (annexe

du quai d'Orsay) et qui, à mon sens, eût été mieux à sa place dans la classe 52.

Imaginez d'abord une cuve rectangulaire en bois, creusée comme une auge; dans cette cuve descendent trois pilons également en bois, manœuvrés par un arbre à trois coudes. Le blé, préalablement mouillé, arrive par une extrémité de cette cuve; il est alors soumis à une série de chocs modérés, mais nombreux, la vitesse donnée à l'arbre coudé étant d'environ 150 tours par minute.

Par l'effet de ces chocs, le péricarpe sec se détache seul. — Vous pourrez examiner, sur les échantillons que je vous présente, l'action de l'appareil sur le blé, et vous rendre compte de la nature du déchet produit. Ce déchet est éliminé par un crible cylindrique muni d'une brosse rotative et par un ventilateur aspirant.

On ménage, par l'action de cet appareil, la partie du grain immédiatement située au-dessous du péricarpe sec.

2° *Mouture.* — La deuxième opération constituant l'art du minotier, c'est la mouture.

Il y a deux genres de mouture :

1° La mouture *ronde* dite mouture française, qui se pratique beaucoup en Angleterre et ailleurs qu'en France. Cette mouture est surtout utile pour la fabrication des semoules et des pâtes d'Italie; elle est usitée en France; mais pour les farines supérieures, destinées à la panification, ce n'est pas ce genre de mouture que l'on préfère.

2° L'autre genre de mouture, c'est la mouture *plate* ou *basse*, dite aussi mouture anglaise, presque exclusivement employée en France. (Rires.) On peut définir comme suit ces deux genres de mouture :

La mouture ronde s'obtient par de petits chocs, en ménageant autant que possible, non seulement la forme des cellules du périsperme farineux, mais encore leur agglomération. La farine qui en résulte est dure au toucher et, en raison de sa forme granulée, elle paraît moins blanche.

La seconde mouture s'obtient aussi par des chocs, mais beaucoup plus répétés et ayant moins d'étendue. La farine qui en résulte est très divisée; elle est très onctueuse au toucher et s'écrase facilement sous les doigts; après le blutage, elle paraît extrêmement blanche, à cause de la forme des particules très ténues qui la constituent.

Il faut dire cependant que cette blancheur tient beaucoup à la nature et à la qualité des blés employés.

Chacun sait que les blés tendres donnent en premier jet la plus grande proportion de farine blanche; or, comme ces blés renferment une moindre proportion d'azote que les blés demi-durs et que les blés durs, cette circonstance explique l'opinion assez généralement accréditée que la

farine très blanche n'est pas nutritive, ou plutôt qu'elle est inférieure, sous ce rapport, à la farine moins blanche.

Le genre de la mouture a-t-il une influence sur les qualités nutritives de la farine? — Je ne saurais me prononcer à cet égard; la discussion sur ce point est ouverte depuis très longtemps; nous attendons donc que MM. les chimistes et les médecins se soient mis d'accord sur la question.

Voici toutefois deux comptes de mouture que je vais vous présenter, et qui peuvent éclairer la question; ils se rapportent à la mouture des blés de la région de Paris.

100 kilogrammes de blés traités dans le rayon de Paris donnent, en mouture ronde, dite aussi mouture à gruaux, les résultats suivants :

100 kilogrammes de blé, pesant 75 à 76 kilogrammes l'hectolitre, ont fourni :

Farine de gruau première qualité	25 kilog.
Farine fleur, pour le pain ordinaire de la boulangerie de Paris	25
Belle farine, deuxième qualité	20
Farine, troisième qualité	3
Son et remoulages (les remoulages sont quelquefois repassés)	23
Petit blé	2
Poussières et pertes par évaporation	2
Total	100

La même quantité de blé traitée en mouture basse donne les produits suivants :

Farine fleur première qualité, pour pain de première qualité de la boulangerie de Paris	68 kilog.
Farine deuxième et troisième qualité	5
Son et remoulages	23
Petit blé	2
Poussières et pertes par évaporation	2
Total	100

Eh bien! si nous comparons ces deux comptes de mouture, nous voyons que les trois derniers nombres se retrouvent exactement sur l'un comme sur l'autre. Dans la mouture ronde, nous extrayons 25 kilogrammes de gruaux, qui sont remoulus et constituent une farine de qualité extra qui se vend un prix plus élevé; mais alors ce qui reste est de qualité inférieure. Il faut donc, pour que le minotier trouve son compte, qu'il vende suffisamment cher sa farine de gruau; le consommateur qui ne peut pas payer le prix de cette farine en est réduit à manger du pain de qualité inférieure.

Au contraire, dans la mouture basse, nous avons une proportion considérable de farine fleur première qualité, qui représente non seulement

la farine fleur employée pour le pain ordinaire, mais encore les gruaux qui ont été retirés dans la mouture ronde.

Ainsi, au point de vue industriel comme au point de vue de la bonne alimentation du plus grand nombre, la mouture basse est préférable en France, en raison des usages commerciaux de ce pays et des habitudes des populations.

Mais s'il s'agit, par exemple, de la manutention militaire ou de la marine, le cas n'est pas le même; car, si l'on reprenait les 25 kilogrammes de farine de gruaux remoulus et qu'on les mélangeât avec le surplus, on aurait évidemment la même qualité, la même puissance nutritive que dans l'autre cas; ce résultat peut donc être atteint par la mouture ronde, en exigeant moins de blutages et reblutages que dans la mouture pour le commerce.

Les appareils qui servent à effectuer la mouture double se divisent en trois classes, que je vais énumérer suivant leur ordre chronologique : en premier lieu, la meule; en second lieu, les cylindres; en troisième lieu, le broyeur Carr et ses dérivés.

Les meules ne présentent, à l'Exposition, rien de particulier au point de vue de leurs dispositions d'ensemble. Vous savez quelle est l'action des meules et je n'ai pas besoin de vous la décrire.

Cependant, dans la classe 52 figurent certains outils pour la fabrication des meules, sur lesquels je dois appeler votre attention; ces outils sont exposés par la maison Roger fils et Cie, de la Ferté-sous-Jouarre.

Vous savez que les meules de moulin se font aujourd'hui en plusieurs pièces, afin de pouvoir choisir les morceaux de qualité convenable et obtenir, par conséquent, des meules homogènes; ces morceaux sont taillés à la main. On fait l'épannellement à la main, c'est-à-dire que les panneaux sont taillés avec les outils qui servent ordinairement aux tailleurs de pierres pour travailler les matières très dures, comme le silex. Mais MM. Roger ont imaginé une machine permettant de dresser parfaitement les panneaux, ainsi que la face supérieure de la meule. Cette machine, exposée dans la classe 55, est analogue à la machine à raboter le bois. C'est une table, animée d'un mouvement de va-et-vient et munie d'un porte-outil; l'outil est monté sur un arbre qui fait environ 12,000 tours par minute; il attaque la surface de la pierre. Cet outil est composé d'une série de diamants du Brésil disposés en hélice; ce sont des diamants de rebut que la joaillerie ne peut pas employer.

Les panneaux étant dressés, les morceaux sont présentés l'un contre l'autre et réunis au moyen d'un mortier composé de ciment, auquel on ajoute de la poussière de silex provenant du rabotage de la pierre ainsi que du tournage de la meule, opération dont nous allons parler. Il est utile que la surface travaillante de la meule soit parfaitement dressée.

Si l'on fait une section verticale d'une meule de moulin, elle présente au centre un évidement appelé l'œillard, qu'entoure une portion inclinée donnant l'entrée au blé, et, enfin, la partie extérieure est horizontale. Le dressage de la face travaillante de la meule se fait dans la classe 52 (annexe parallèle à l'avenue de la Bourdonnaye). La machine employée dans ce but est un tour à banc coupé, sur la plate-forme duquel est montée la meule. L'outil travaillant est aussi le diamant. Un manchon, monté sur un arbre horizontal, qui fait 4,000 tours à la minute, porte une série de diamants disposés en hélice. L'avancement de l'outil, dans le sens du rayon, se fait automatiquement, et cet avancement est d'autant plus rapide que l'outil se rapproche davantage du centre. Ce tour, exposé par MM. Roger fils et Cie, comporte une disposition ingénieuse qui enlève la poussière produite, et soustrait ainsi l'ouvrier à son action pernicieuse.

C'est la première fois que paraît, dans une exposition universelle française, un outillage destiné à travailler mécaniquement les meules à blé.

Le travail de la préparation des meules n'est pas absolument complet, au point de vue mécanique. Ainsi jusqu'à présent on n'a pas trouvé le moyen de faire mécaniquement les rayures des meules. Ces rayures se font encore à la main. Il existe bien, dans deux sections étrangères, des instruments destinés, dit-on, à faire les rayures des meules, mais, en réalité, ils ne servent qu'à les blanchir; il faut qu'elles soient au moins dégrossies, avec les instruments ordinaires, à la main.

Le tour de M. Roger peut dresser une meule de 1m,30 en huit heures et une meule de 1m,50 en dix heures.

Il est nécessaire que la surface travaillante des meules se présente dans un état à peu près constant, si l'on veut que la mouture soit toujours faite de la même façon.

Pour entretenir la surface dans cet état, il faut rhabiller les meules. Le rhabillage consiste, comme vous le savez, à pratiquer des stries sur les *portants* de la meule, c'est-à-dire sur les portions de la surface de la meule en saillie par rapport aux rayures; ces stries peuvent se faire automatiquement, et d'une façon très rapide, au moyen de la rhabilleuse automatique de M. Millot, exposée dans la section suisse. La machine est complète sous ce rapport. Elle se compose d'un bâti formé de trois pieds en fonte, assez lourds, qui sont réunis à un moyeu que l'on place au centre de la meule, c'est-à-dire dans l'œillard; ces trois pieds sont réunis au moyeu par trois bras. L'appareil est donc monté sur la meule elle-même.

L'un des bras porte l'outil travaillant; cet outil est monté sur un chariot susceptible de se déplacer automatiquement dans le sens du rayon; il consiste en un petit arbre portant un diamant et faisant 12,000 tours à la minute.

Lorsqu'une strie est tracée, la machine se déplace automatiquement de

l'intervalle nécessaire pour tracer la strie suivante, et l'on arrive ainsi à rhabiller une meule à peu près dans une heure. La rhabilleuse de M. Millot n'est qu'une modification de celle exposée dans la section française par M. Golay, dont la machine ne peut décrire automatiquement qu'une portion de circonférence.

Il n'y a dans l'Exposition rien de nouveau en ce qui concerne le montage des meules à blé. Le manchon et l'anille n'ont subi aucune modification importante.

Il existe bien, dans la classe 52, un petit modèle de manchon et d'anille dans lequel le manchon porte quatre sphères logées dans quatre compartiments pratiqués dans le manchon. L'inventeur a pensé que, par cette disposition, il permettait à la meule d'osciller dans tous les sens; mais, en pratique, il n'en peut pas être ainsi; et d'ailleurs, vous savez que l'emploi des sphères comme coussinets, comme parties frottantes, n'est pas bon, parce que ces sphères s'aplatissent et qu'ainsi la forme sur laquelle on devait compter disparaît peu à peu.

Dans la classe 52 on trouve exposé par MM. Brisson, Fauchon et Cie, un moulin à meules oscillantes.

Cette disposition n'est pas nouvelle, et ceux d'entre vous, Messieurs, qui ont connu M. Chapelle, lui ont entendu raconter au moins une fois l'histoire de ces meules oscillantes. Elles ne peuvent convenir pour faire de la mouture basse, parce que la stabilité du gîte n'est pas suffisante; aussi les minoteries du commerce ne les ont-elles pas adoptées. Elles peuvent être employées dans la mouture ronde, par exemple, et pour faire une farine n'ayant pas la blancheur et les qualités recherchées par le public français.

Les meules se placent soit au premier étage, portées sur un beffroi, soit au rez-de-chaussée; la première disposition est la plus répandue; la seconde présente cependant certains avantages. En plaçant la meule au rez-de-chaussée, le gîte est établi sur une fondation parfaitement stable, et, par conséquent, on peut approcher *au plus près;* on peut donc obtenir une mouture plus régulière.

Il est très important que les meules établies au premier étage soient posées sur un beffroi solide non susceptible de vibrer. Vous trouverez dans la classe 52 un beffroi de moulin à blé, pour quatre paires de meules, exposé par M. Laurent, de Dijon. Son beffroi circulaire en fonte repose directement sur le sol du rez-de-chaussée, il paraît très-léger. Il ne faut pas aller trop loin dans cette voie, car il n'est pas bon d'économiser la matière pour des pièces de support qui doivent être absolument rigides. Si vous voulez faire de très bonne mouture basse, comme on le désire en France, il faut que le gîte, ainsi que je vous le disais, soit parfaitement stable; ayez donc un beffroi très solide et ne pouvant pas vibrer.

On groupe les meules en beffrois circulaires ou en beffrois rectilignes.

La première disposition est généralement usitée lorsque les meules sont commandées par engrenages, quelquefois aussi pour les meules commandées par courroie.

La disposition des beffrois rectilignes s'applique spécialement aux moulins commandés par courroies; ces moulins ont, dans certains cas, de très grands avantages, tels même qu'on préfère souvent la transmission par courroies à celle par engrenages, bien qu'elle puisse exiger plus de force motrice.

En commandant les meules par courroies, on les dispose comme l'on veut, et en les plaçant en beffroi rectiligne, montage généralement usité aujourd'hui, le ramassage de la boulange est facile; en outre, l'arrêt et la mise en train d'une paire de meules commandée par courroie sont beaucoup plus commodes que dans la transmission par engrenages, attendu que les moyens de débrayage employés dans les moulins à engrenages ne sont pas suffisants. Les manchons à friction, qui sont les seuls applicables dans ce cas, sont soumis à l'influence, à l'action des poussières qu'un moulin renferme toujours, et les surfaces ne sont plus, après un certain temps, suffisamment lisses pour déterminer l'entraînement; on est alors obligé de serrer outre mesure, et l'on *fausse* l'appareil de débrayage.

Vous savez, Messieurs, que la ventilation des meules à blé a pour effet d'accélérer leur production, en dégageant les rayures de la mouture qu'elles renferment, et de rafraîchir en même temps la boulange.

L'Exposition présente peu de dispositions à cet égard; il y en a cependant une nouvelle dans la section française, à la classe 52. Le moulin qui la comporte a été construit et exposé par M. Toulet, mécanicien à Albert (Somme).

Voici en quoi consiste ce mode de ventilation. L'archure qui recouvre la meule est partagée en deux compartiments par une cloison horizontale; sous cette cloison sont suspendues des toiles plissées, au-dessus de la meule courante.

On produit dans le compartiment supérieur une aspiration énergique, au moyen d'un ventilateur placé sur le sol; on détermine ainsi le passage de l'air entre les deux meules, dans le but de rafraîchir la boulange; mais pour éviter l'entraînement de la folle farine, l'air est obligé de traverser les toiles suspendues au-dessus de la meule courante; nous pensons que ces toiles se gommeront rapidement et qu'en peu de temps elles seront hors de service.

Vous trouverez à la classe 52, dans l'annexe parallèle à l'avenue de la Bourdonnaye, une construction spéciale de meule due à M. Aubin; c'est la meule blutante. Voici le principe de cette machine.

Tout d'abord la meule courante ne présente rien de particulier. Mais,

en ce qui concerne la meule gisante, un certain nombre de rayures, une vingtaine environ, sont remplacées par des ouvertures trapézoïdales que recouvrent de petits tamis en toile métallique d'un numéro plus ou moins fin, suivant qu'il s'agit de faire de la mouture à gruaux ou de la mouture basse.

Sous chaque tamis la meule présente donc un évidement, une fente. Ces tamis sont logés dans les rayures, de telle sorte que leur face supérieure ne dépasse pas les portants de la meule; ils sont montés sur deux vis verticales placées à chaque extrémité, dans le sens du rayon, et dont on peut régler la position pour établir convenablement celle de la surface supérieure des tamis.

Chaque tamis porte en dessous une tige verticale à laquelle est fixé un petit marteau. Contre ce marteau vient en frapper un autre suspendu sous la meule. Les marteaux correspondant à chacun des châssis sont mis en mouvement par un levier à deux ou à trois branches portant des cames; à chaque passage des cames, le châssis reçoit un choc. Ce choc détermine le passage, à travers le tamis, de la farine ayant la grosseur voulue. La boulange se trouve donc expulsée à mesure qu'elle est produite, et partagée en deux parties distinctes; ce qui constitue un premier blutage. L'échauffement est moins à craindre; en outre, la meule ne peut pas s'empâter et la résistance est moindre; on obtient à la périphérie de la meule un son presque complètement débarrassé de la farine. Vous trouverez ici un échantillon du son tel qu'il sort de la meule blutante de M. Aubin.

Le son et la boulange descendent tous deux sur le récipient circulaire, s'il s'agit d'un beffroi circulaire, et l'on voit, sur le même récipient, à côté l'un de l'autre, la boulange et le son.

Le moulin de Bouray (Seine-et-Oise), qui appartient à M. Aubin, comporte 25 paires de meules sur lesquelles ce système a été adopté.

Dans les expériences que j'y ai faites, j'ai obtenu en une demi-heure, pour deux paires de meules, en boulange telle qu'elle sort à travers les tamis dont je vous ai parlé, 72 kilogrammes, et en son 19 kilogrammes; total : 91 kilogrammes; par conséquent, chaque paire de meules produisait en une heure 91 kilogrammes de mouture.

La proportion de la boulange est de $\frac{72}{91}$ ou 79 p. 0/0. Cette boulange, bien entendu, renferme encore une certaine proportion de son et doit subir un blutage complémentaire; mais, telle qu'elle est, elle pourrait fournir un excellent pain de ménage.

La boulange et le son sortent parfaitement refroidis, au moyen du courant d'air produit par un aspirateur qui prend l'air dans la chambre même du moulin (il serait préférable de le prendre à l'extérieur).

Vous trouverez dans la même classe 52, et dans la même galerie, un

appareil que je ne peux pas vous décrire, parce qu'il m'est impossible d'entrer dans les détails; c'est un engreneur protecteur des meules, exposé par M. Sémonin, de Dijon.

Il a pour but de soulager la meule, surtout si elle marche à vide; il prévient l'engorgement, et, lorsqu'on arrête, le garde-moulin n'a pas besoin de soulever la meule courante, que l'appareil en question soulève automatiquement; mais cet appareil ne me paraît bon qu'en théorie; il semble trop compliqué pour être placé sur des meules à blé. J'en ai vu un établi dans un moulin bien entretenu, et il s'est tellement encrassé de poussière que son fonctionnement laisse à désirer.

Avant de moudre le blé, il est souvent utile de le mouiller. Cela permet à la farine de mieux se détacher du son. C'est une pratique généralement usitée quand il s'agit de moudre du blé dur. Dans le pavillon du moulin batteur, au premier étage, où se trouve établi le nettoyage de MM. Rose, vous trouverez, parmi les appareils exposés par ces Messieurs, un mouilleur à blé très ingénieux.

Voici sommairement en quoi il consiste : une roue à augets reçoit le blé à mouiller sortant du nettoyage; sur l'axe de cette roue à augets est montée une roue à godets qui prend l'eau nécessaire au mouillage dans un bassin. Le mouvement est donné par le grain lui-même. La roue à godets élève l'eau dans un conduit, d'où part un tuyau qui la mène à une *vis-mouilleur;* c'est une vis d'Archimède placée dans un conduit horizontal. La roue à augets dépose le grain à la partie inférieure et élève l'eau en quantité suffisante; on peut régler cette quantité en faisant varier le nombre des godets.

On a donc ainsi un appareil qui mouille toujours le blé dans la même proportion, puisque si l'alimentation augmente, la vitesse de rotation augmente aussi et la quantité d'eau fournie également; si, au contraire, l'alimentation cesse, le mouilleur s'arrête.

La minoterie s'est développée en France depuis 1867, mais spécialement dans la région de Marseille. En 1867, on comptait à Marseille 600 à 620 paires de meules; en 1877, il y en avait 984, et la progression continue. Cette progression est due au facile approvisionnement que ce port présente pour les blés du Levant, de l'Afrique et de l'Inde. On y fait aujourd'hui, mais seulement depuis 1872, la mouture des semoules. Cette industrie était autrefois réservée presque exclusivement à l'Italie; aujourd'hui elle a pris un tel développement, dans le rayon de Marseille, que non-seulement on n'importe plus ni semoules ni pâtes d'Italie, mais qu'on en exporte, au contraire, des quantités considérables. Ces résultats, excellents au point de vue national, sont dus aux efforts des minotiers intelligents de cette région, tels que MM. Moricelli, Maurel, Moutet, Lavie et d'autres que je pourrais nommer.

Je dois citer dans le Nord de la France la création du moulin de Prouvy, près de Valenciennes, dans le département du Nord. Cette création est assez récente. Le moulin comporte aujourd'hui 32 paires de meules, et l'on se dispose à y en ajouter 8 autres.

Vous savez que la mouture de la région du Nord est principalement de la mouture d'exportation. En 1877, le moulin de Prouvy a écrasé, en chiffre rond, 200,000 quintaux de blé, en marchant avec 28 paires de meules; cela correspond à 70 kilogrammes de blé moulu par heure et par paire de meules, c'est-à-dire à environ 22 à 23 hectolitres de blé par vingt-quatre heures, si le blé pèse en moyenne 75 kilogrammes l'hectolitre.

La force exigée par les meules à blé et leur production en mouture sont très variables; elles dépendent de la qualité du blé et des produits que l'on veut obtenir.

En France, on compte qu'un cheval-vapeur peut moudre par vingt-quatre heures de 4 à 5 hectolitres, 7 au maximum.

A Odessa, on compte, par paire de meules de 1^{m},25, 7 chevaux, en y comprenant les accessoires, et l'on moud 250 kilogrammes de blé à l'heure par paire de meules; mais il faut dire que c'est de la mouture ronde.

A Paris, on admet généralement qu'il faut 4 chevaux et demi par paire de meules pour produire à l'heure 80 kilogrammes de mouture. Cela correspond à 18 kilogrammes de blé par heure et par cheval.

A Marseille, on compte 5 chevaux par paire de meules. En blé tendre, on moud 25 hectolitres de blé par jour, et 30 à 32 sur blé dur.

La main-d'œuvre d'un moulin de 8 tournants, établi récemment et marchant sur blé tendre, comporte, à Marseille, 3 rhabilleurs, 2 meuniers, 2 hommes aux bluteries, un homme à la laveuse, un emballeur, un petit ouvrier pour pousser la farine, pour balayer, etc., et enfin un contre-maître; total, 12 hommes. Cela fait un homme et demi par paire de meules; c'est à peu près la moyenne pour la mouture ordinaire.

La trituration du blé pour semoules, avant l'invention du sasseur mécanique dont je dois vous parler, exigeait une main-d'œuvre considérable.

Un moulin de 8 tournants, marchant sur blé dur pour semoule, peut passer par jour 150 charges de 130 kilogrammes chacune, c'est-à-dire en vingt-quatre heures 19,500 kilogrammes; les 19,500 kilogrammes de mouture fournissent 9,750 kilogrammes de semoule, et comme un ouvrier cribleur ne peut passer par jour que 250 kilogrammes de semoule, il en résulte que, pour la production d'un moulin de 8 paires de meules, il fallait 39 ouvriers, auxquels on doit ajouter les 12 ouvriers nécessaires pour la mouture proprement dite. Cela fait donc 51 personnes, soit environ 6 ouvriers un tiers par paire de meules. Avec le sasseur mécanique, on remplace les 39 ouvriers cribleurs par 8 ouvriers sasseurs, ce qui fait en tout

20 personnes, soit 2 ouvriers et demi par paire de meules. Vous voyez que la réduction obtenue sur la main-d'œuvre est considérable.

La seconde classe d'appareils effectuant la mouture, ce sont les cylindres.

Il y a longtemps qu'en France on fait usage des cylindres comprimeurs dans les moulins à blé. On fait ainsi subir au blé une opération préliminaire avant de l'introduire dans la meule. Cette opération n'est pas toujours nécessaire. Si les blés sont difficiles à moudre, parce qu'ils sont trop mous, on les comprime pour leur permettre de subir l'action de la meule. S'ils sont durs et pierreux, on fait la même opération afin, également, de faciliter l'action de la meule.

Mais en Hongrie, dans le rayon de Buda-Pesth, on emploie les cylindres spécialement pour la mouture.

Cette mouture est, en quelque sorte, l'exagération de la mouture ronde. On obtient, en premier jet, une proportion très faible de farine blanche tout à fait supérieure; mais on en retire une quantité de gruaux très grande. Les gruaux très blancs sont repris, remoulus, et fournissent cette farine magnifique que vous voyez exposée dans la section hongroise. Mais, précisément par suite de ce genre de mouture, on retombe, au point de vue du consommateur français, dans l'inconvénient que je signalais en parlant de la mouture ronde et qui consiste à fournir une petite proportion de farine de qualité extraordinaire, ne pouvant être consommée que par ceux qui sont à même de la payer très cher, et, à côté de cela, des farines de seconde qualité dont les habitants de la Hongrie et de l'Allemagne se contentent parfaitement, parce que le pain bis leur suffit, tandis que le consommateur français n'en voudrait à aucun prix. Le genre de mouture employé en Hongrie est donc tout à fait spécial aux habitudes locales; il est spécial aussi à la nature des blés qui sont traités dans ce pays. Ce ne sont pas, à proprement parler, des blés durs; ils ne sont pas aussi durs que les blés d'Afrique, mais ce ne sont pas non plus les blés tendres, les blés demi-durs que nous avons en France.

Les appareils composant un moulin hongrois marchant avec des cylindres forment deux séries.

Une première série sert à faire en quelque sorte le concassage du blé. On obtient de la farine blanche en petite quantité, une grande proportion de gruaux; on reprend le tout dans le même moulin dégrossisseur, puis les gruaux qui proviennent de ce remoulage sont repris par une seconde série de cylindres. La première série de cylindres est constituée de deux façons. Dans le type véritable de la mouture hongroise, c'est-à-dire dans les appareils Wegmann, que vous trouverez exposés dans la section suisse et que vous pourrez y voir fonctionner, les cylindres sont en biscuit de porcelaine. Le cylindre dégrossisseur est un prisme à faces très nombreuses sur

lesquelles on a pratiqué des stries. Le cylindre finisseur, au contraire, ne présente pas d'autres aspérités que celles qui sont naturelles au biscuit.

La première opération s'effectue dans le cylindre dégrossisseur, et la série des remoulages, au contraire, s'effectue avec les cylindres unis. Pour obtenir, pour tirer du blé la totalité de la farine qu'il renferme, il faut, par le procédé hongrois, faire une série de remoulages qui peuvent aller jusqu'à 8 ou 10, au moins 5; il y a même des moulins où l'on fait jusqu'à 40 ou 45 remoulages; il y a toujours une queue dont on ne peut pas se débarrasser. C'est à tel point que certains moulins, montés d'après le système Wegmann, comportent également des meules pour terminer le remoulage des gruaux. Dans ce genre de mouture, le sassage peut être évité parce que les cylindres aplatissent les rougeurs ; on pratique alors une série de remoutures et de blutages alternatifs. La force employée pour travailler la même quantité de blé que dans la mouture française, c'est-à-dire avec les meules ordinaires, est environ doublée; ainsi, s'il faut 5 chevaux en France, il en faut 10 dans le système hongrois pour que l'opération soit complète sur la même quantité de blé.

Avant 1867, le rayon de Buda-Pesth comportait 170 paires de meules et 65 cylindres. Le premier moulin à cylindres établi à Buda-Pesth remonte à 1839 environ. Depuis cette époque, il a toujours fonctionné d'après le même système. Depuis 1867, on a créé 300 paires de meules et 375 moulins à cylindres; cela fait aujourd'hui en totalité 470 paires de meules et 440 moulins à cylindres. Le capital engagé, en 1867, était de 8 millions de francs; il est aujourd'hui de 24 millions. En 1867, on triturait annuellement 1,500,000 quintaux de blé; aujourd'hui on en triture 3,500,000 quintaux. Ces moulins occupent 3,800 personnes, ce qui fait en moyenne 5 personnes pour le matériel et la production correspondant à une paire de meules, tandis que vous venez de voir qu'en France, et pour faire la mouture du commerce, il suffit d'une personne et demie par paire de meules.

La supériorité de la mouture française, à ce point de vue, est donc évidente.

Quant à la qualité remarquable des produits obtenus par le procédé hongrois, il n'y a qu'à regarder ces produits à l'Exposition pour se convaincre qu'elle est supérieure; mais au point de vue industriel et eu égard aux conditions toutes différentes où nous nous trouvons en France, ce genre de mouture n'est pas en général possible chez nous. Il est praticable en Hongrie, parce que la force motrice coûte peu et parce que la main-d'œuvre y est pour rien ou à peu près, comparativement à la main-d'œuvre française.

Dans la section autrichienne, la maison Ganz et Cie a exposé des moulins du système Wegmann, construits par elle et dans lesquels les cy-

lindres sont en fonte striée, d'une qualité et d'une dureté remarquables; cette maison est justement renommée pour ses fontes spéciales.

Je vous faisais remarquer que les consommateurs hongrois et allemands, en général, se partagent en deux classes : l'une qui mange la farine superbe que vous verrez, l'autre qui se contente de pain bis; mais, à cet égard, on voit déjà se manifester un symptôme de réforme.

Depuis la guerre de 1870, l'Allemagne importe des farines blanches françaises; l'Allemand commence à trouver le pain blanc préférable au pain bis, et il en résultera nécessairement que, ce goût se développant, la mouture allemande devra se modifier, si elle veut lutter contre la concurrence étrangère.

Les cylindres peuvent être avantageusement employés en France dans la remouture des gruaux, à cause précisément de l'aplatissement qu'ils produisent sur les particules de son.

Le troisième appareil qui figure à l'Exposition pour la mouture du blé, c'est le broyeur Carr. C'est une nouveauté en France; mais à Édimbourg il existe depuis un certain temps un très grand moulin monté exclusivement avec le système Carr. Le moulin-batteur qu'expose M. Toufflin et qu'il fait fonctionner dans le pavillon faisant face à l'École militaire, n'est autre que le broyeur Carr, modifié par cet exposant en vue de son application à la mouture du blé.

Jusqu'alors les essais tentés dans quelques minoteries françaises pour l'emploi de ce broyeur n'ont pas donné les résultats voulus. Ainsi, j'ai assisté par hasard, il y a dix-huit mois environ, à un essai fait dans le moulin de Prouvy. Je croyais que l'appareil avait été fourni et installé par le concessionnaire français du broyeur Carr; il n'en était rien. L'appareil établi à Prouvy était une modification malheureuse du broyeur Carr, par conséquent dans de mauvaises conditions; les produits qu'il donnait étaient tout à fait inacceptables; aussi les essais n'ont-ils pas été continués.

Aujourd'hui la minoterie française se préoccupe de les reprendre d'une façon sérieuse, et il se monte en ce moment, en Algérie, une minoterie comportant exclusivement ce nouvel appareil.

Le broyeur Carr, comme vous le savez, Messieurs, est un appareil construit d'une façon très simple. Le petit modèle que j'ai ici et que je mets sous vos yeux n'est pas la reproduction exacte en petit de celui qui fonctionne au Champ de Mars. Dans celui que j'ai là, la longueur des broches est beaucoup trop grande pour produire une boulange acceptable. En examinant l'appareil du Champ de Mars, vous remarquerez que la longueur des broches a été considérablement diminuée.

La mouture obtenue par le broyeur Carr ne ressemble absolument ni à la mouture basse ni à la mouture ronde; c'est une mouture pour ainsi dire intermédiaire. Elle donne, en premier jet, moins de farine blanche

que la mouture basse et une plus grande quantité de gruaux, surtout des gruaux plus gros et plus blancs.

Voici un compte de mouture par ce procédé, qui vous permettra de comparer l'emploi du broyeur Carr avec celui des meules par le résultat obtenu.

Si nous prenons 100 kilogrammes de blé pesant 75 kilogrammes l'hectolitre en moyenne, nous obtenons en premier jet : farine premier jet, 45 kilog. 84; issues, 19 kilog. 74.

Ces issues se composent de 10 p. 0/0 environ de gros son, qui n'est pas à repasser, de moyen et de petit son, de recoupettes qui ne sont pas non plus à repasser, et des soufflures du sassage.

Total au premier jet de produits finis : 65 kilog. 58.

Il reste :

	KILOGRAMMES.
Gruaux blancs	6.98
Gruaux durs	15.42
Petits gruaux	2.75
Bis dur	8.42
Ce qui fait au total	99.15

La perte serait moindre que 1 p. 0/0.

Il y a là quelque chose qui n'est pas absolument naturel; cela provient sans doute d'un mouillage un peu trop exagéré du blé. En effet, pour obtenir, avec cet appareil, un son plat et large, il faut mouiller le blé; autrement le son serait complètement brisé.

Nous avons donc à repasser les quantités qui sont indiquées plus haut, c'est-à-dire en totalité 25 kilog. 15. Ces 25 kilog. 15 en premier remoulage produisent en farine de gruaux 20 kilog. 16. Il nous reste une différence de 4 kilog. 4 et 8 kilog. 42, ce qui fait 12 kilog. 46 en mouture de troisième jet. Dans ces 12 kilog. 46, on retrouve 8 kilog. 75 en farines deuxième, troisième et quatrième.

Nous avons alors en totalité 45 kilog. 84, plus 20 kilog. 16, ce qui fait 66 kilog. en farine première; en farines deuxième, troisième et quatrième, 8 kilog. 75, soit au total 74 kilog. 75. Le surplus, 24 kilog. 95, représente les issues.

Vous voyez par ces résultats que, par la quantité de farine de premier jet obtenue, cette mouture tient le milieu entre la mouture basse et la mouture ronde; elle donne donc une farine blanche de meilleure qualité que celle de la mouture ronde privée de gruaux; mais si l'on prend les gruaux blancs résultant du premier passage au broyeur, qu'on ne les ajoute pas, après le remoulage, à la farine obtenue du premier jet, on a alors une farine blanche de moins bonne qualité que la farine blanche

obtenue par la mouture basse. Néanmoins il est possible qu'on arrive, en étudiant bien l'appareil, à obtenir une mouture de très belle qualité qui pourra rivaliser, dans une certaine mesure, avec les résultats de la mouture par les meules.

En ce qui concerne la puissance motrice dépensée, elle est la même pour moudre, pour finir complètement 100 kilogrammes de blé, par la meule ou par le broyeur Carr; il n'y a pas, sous ce rapport, d'économie ; l'économie n'existe que dans les frais d'installation et, par conséquent, dans le capital engagé.

Les frais d'installation sont moindres, en effet, car le broyeur est moins coûteux que le nombre de paires de meules qu'il représente pour le même travail.

On arrivera probablement à réaliser une économie sur la force motrice employée dans la mouture par le broyeur Carr, et une économie qui peut être assez grande.

Si vous avez vu fonctionner l'appareil, vous avez remarqué qu'il produit l'effet d'un ventilateur puissant. Les broches montées sur les plateaux éprouvent, de la part de l'air, une résistance considérable. Si l'on arrive à réduire, dans une proportion notable, cette résistance, et cela me paraît possible, on réalisera non seulement une économie sur les frais d'installation, mais une économie sur la force motrice.

C'est un appareil nouveau qui n'a pas dit son dernier mot, et je connais des gens très autorisés comme praticiens dans l'art de la minoterie, qui sont tout disposés à faire des essais. Il convient évidemment de faire des essais avec mesure, de marcher prudemment, afin de ne pas faire de dépenses inutiles; mais si l'on ne tient pas à avoir, dès maintenant, une farine extrêmement blanche et que l'on veuille, au contraire, obtenir une mouture donnant un bon pain de ménage, le broyeur Carr est parfaitement l'instrument qui convient.

Je dois faire remarquer que la mouture des gruaux sortant du broyeur exigera probablement, pour être complète et économique, l'emploi des meules ordinaires ou l'adjonction des cylindres Wegmann.

Il existe des broyeurs dérivés de celui de Carr; je les citerai, parce qu'ils sont représentés à l'Exposition.

Il y a, en premier lieu, celui de Bordier; c'est le broyeur Carr placé verticalement, c'est-à-dire ayant son arbre vertical; il donne, au point de vue de la qualité de la mouture, des résultats à peu près identiques à ceux du broyeur Carr tel qu'il fonctionne au Champ de Mars.

Le broyeur Anduze n'est pas construit d'une façon identique à celle du broyeur Carr; il fonctionne cependant sur le même principe: ce sont des dents, des parties saillantes pénétrant l'une dans l'autre et entre lesquelles passe la graine. Mais comme ces dents présentent des saillies tranchantes,

leur action n'est pas du tout la même que celle des broches cylindriques et parfaitement polies du broyeur Carr.

Le son est complètement brisé par l'emploi du broyeur Anduze. M. Anduze n'a, d'ailleurs, pas la prétention de faire de la farine de commerce avec son moulin; il le considère comme un appareil de concassage pouvant faire de la farine tout à fait ordinaire et à l'usage des exploitations agricoles.

M. Hignette a exposé également un broyeur composé de deux cônes pénétrant l'un dans l'autre et qu'il applique à diverses opérations autres que celle de la mouture du blé.

3° *Blutage et Sassage.* — Lorsque la boulange sort des meules, il faut en classer les diverses parties; d'une part séparer la farine, d'autre part le son, classer les diverses qualités de farine, en séparer les gruaux, classer les diverses qualités de son et en séparer les gruaux.

Rien de nouveau à l'Exposition en ce qui concerne la bluterie proprement dite.

Il y a trois sortes de bluterie : 1° la bluterie prismatique, qui renferme des taquets qui secouent les tamis pour faire passer la farine au travers; ces secousses ont lieu constamment.

2° La bluterie dans laquelle les taquets sont placés extérieurement et où on les fait agir en nombre plus ou moins grand. Cette seconde disposition est préférable, parce qu'on peut faire varier les secousses en raison du produit à tirer de la matière à bluter.

3° Enfin, il existe une autre sorte de bluterie dite bluterie à force centrifuge, dans laquelle l'appareil se compose d'un cylindre, et non plus d'un prisme, animé d'un mouvement de rotation assez lent. A l'intérieur de ce cylindre est monté un arbre armé de palettes; on donne à cet arbre une vitesse assez grande, jusqu'à 300 tours par minute. La matière à bluter est projetée sur toute la surface blutante, et l'on prétend ainsi augmenter beaucoup, à surface égale, la production de la bluterie. Ce système, connu sous le nom de bluterie allemande ou hollandaise, est tout à fait applicable à la mouture ronde, parce que la matière qui ne passe pas à travers les tamis les nettoie elle-même en frottant contre leur surface.

Mais, pour la mouture basse, je ne crois pas que cette projection d'une farine extrêmement fine contre une toile également fine puisse faire autre chose que de boucher les interstices.

Je vous ai parlé tout à l'heure de la mouture appliquée à la semoule et du repassage des gruaux.

Les gruaux sont généralement rouges, à cause des particules de son qu'ils renferment; c'est pourquoi, dans la mouture pour semoule, on em-

ployait un nombre considérable d'ouvriers cribleurs destinés à séparer justement ces parties rouges. Aujourd'hui cette opération se fait mécaniquement, au moyen d'appareils qu'on appelle sasseurs.

Le sasseur est une table dont le fond est recouvert de soies de différents numéros. Cette table est légèrement inclinée; elle est placée au-dessus d'une caisse dans laquelle on envoie un courant d'air; la caisse est elle-même partagée en différents compartiments correspondant aux numéros des soies.

L'air qui arrive dans la caisse est distribué en tête de chaque lé de soie au moyen d'un registre transversal. On règle donc ainsi l'insufflation produite sous la toile. Le mélange de son et de gruaux placé sur la table est soulevé par cette insufflation. Les parties légères montent à la surface; les gruaux, qui sont plus lourds, passent à travers la toile, s'ils sont assez fins, et, pour les faire cheminer, on donne à la table un mouvement de va-et-vient longitudinal. Un appareil ainsi construit, ayant à peu près $2^{m},50$ de longueur, peut sasser par jour 1,000 kilogrammes de gruaux de semoule.

Les dispositions que je viens de vous indiquer sont celles du sasseur de M. Maurel, de Marseille; mais il existe à côté un sasseur mécanique construit par M. Bordier, qui fonctionne à peu près aussi bien et qui n'en diffère que par un autre mode de répartition de l'air sous le tamis.

Pour terminer, je n'ai que quelques mots à dire sur la mouture agricole.

Autrefois, l'agriculteur donnait son blé à moudre au meunier des environs; or, le meunier au petit sac, qui travaille à façon, rend en général de mauvaise farine si on lui donne de bon blé, ou ne rend pas le compte. L'agriculteur a donc intérêt à moudre son blé lui-même, et voilà déjà longtemps que les moulins agricoles ont été introduits en France. Mais, depuis 1867, leur importance, comme dimensions, a notablement augmenté. Vous trouverez dans la section française, classe 52, un moulin portatif établi par M. Aubin avec sa meule blutante, sous laquelle sont montées deux bluteries. Tout l'ensemble est porté par un beffroi à quatre colonnes en fonte. Ce moulin, en fonte, transportable, peut se placer sur un petit chariot à quatre roues et se transporter facilement d'un lieu à un autre.

Dans les sections étrangères, et notamment dans la section anglaise, vous trouverez un assez grand nombre de moulins agricoles, composés de meules de $1^{m},05$ à $1^{m},10$ de diamètre et construits à peu près comme les moulins du commerce. En général, les meules de ces moulins sont commandées par une paire d'engrenages coniques. Cette disposition n'est pas très bonne, parce que, pour régler l'écartement entre les deux meules, on fait varier la position des engrenages l'un par rapport à l'autre, ce qui

est mauvais surtout pour les engrenages coniques; cependant cela est acceptable pour un appareil qui ne doit pas fonctionner d'une manière permanente comme un moulin à blé du commerce, et qui n'est pas destiné à produire la même qualité de mouture.

Ici, Messieurs, se termine ce que j'ai cru intéressant de vous dire sur la minoterie à l'Exposition.

Il me reste à vous remercier de l'attention très soutenue que vous avez bien voulu m'accorder. J'avais beaucoup de choses à dire, et j'ai peut-être été trop long; mais il m'a paru nécessaire de vous signaler tous les points sur lesquels j'ai appelé votre attention. Je dois aussi remercier de l'honneur qu'il m'a fait en acceptant la présidence de cette réunion M. Armengaud aîné, l'un des ingénieurs qui ont le plus contribué, par leurs travaux et par leurs écrits, à la vulgarisation des progrès réalisés dans l'industrie dont nous venons de nous occuper. (Applaudissements.)

M. Armengaud aîné, *président.* Vous voyez, Mesdames et Messieurs, par les détails *ex professo* que vient de vous donner M. Vigreux, combien l'industrie minotière est importante et embrasse de sujets différents; aussi vous êtes unanimes à applaudir l'orateur de sa conférence vraiment instructive.

La séance est levée à 4 heures.

PALAIS DU TROCADÉRO. — 3 AOÛT 1878.

CONFÉRENCE

SUR

LE SAVON DE MARSEILLE

ET

SON PROCÉDÉ DE FABRICATION,

PAR M. L.-H. ARNAVON,

MANUFACTURIER.

BUREAU DE LA CONFERENCE

Président :

M. Chevreul, membre de l'Institut.

Assesseurs :

MM. Fourcade, ancien manufacturier, membre de la Chambre de commerce.
Lauth, chimiste.
Simonin, ingénieur.
Ch. Thirion, secrétaire du Comité central des congrès et conférences.

La séance est ouverte à 2 heures.

M. Chevreul, *président,* donne la parole à M. Arnavon.

M. Arnavon. Messieurs, au mois de mars 1669, Colbert, à qui l'histoire a donné sa place parmi nos plus brillantes gloires, affranchit le port de Marseille de tout impôt et réglementa la fabrication du savon par une série d'édits qui n'avaient en vue que le relèvement de cette importante branche de l'industrie nationale.

Au milieu d'une des plus fortes crises que notre industrie savonnière

ait traversées, il arrêta ainsi un malaise qui tendait à la faire disparaître des lieux où elle avait pris naissance, et l'empêcha de s'implanter en Espagne et en Italie.

C'est sous l'influence bienfaisante de ces édits, les uns de réglementation, les autres de franchise et de liberté, que la savonnerie marseillaise conquit ses premiers développements.

Il me semble, Messieurs, que je ne saurais mieux faire, pour me gagner votre bienveillance, que de payer à cette administration si bienfaisante le tribut de reconnaissance qui lui est dû et de mettre mon entreprise sous le patronage de ce grand nom.

Le savon se préparait dans les Gaules bien avant que les Romains en eussent fait la conquête.

Il est difficile d'affirmer que l'antique Phocée fut le berceau de la savonnerie; nous ne trouvons dans aucun des auteurs anciens de renseignements précis sur ce point. Mais il est un fait certain, c'est que les Massaliotes étaient à cette époque les seuls à cultiver les arts industriels. Dignes fils de cette race hellénique célèbre par son esprit de commerce autant que par son amour pour les belles-lettres et pour les arts, ils s'étaient acquis une grande réputation par leur génie industriel; ils s'étaient mis en rapport avec tous les pays voisins, avec lesquels ils entretenaient un important commerce d'échanges, et propageaient dans leurs colonies le culte de leur industrie et de leur commerce.

Aussi me paraît-il qu'il n'y a pas trop de hardiesse à conclure, par induction historique, que, si la fabrication du savon a pris naissance dans les Gaules, c'est à Marseille qu'elle a été créée et qu'on peut, en torturant peut-être le sens grammatical, mais en s'appuyant sur le témoignage de Pline, traduire par savon de Marseille l'*unguentum Galliæ* qui revient si souvent dans son œuvre.

C'est dans Pline que nous retrouvons certains emplois du savon qui font sourire de nos jours, mais qui furent fort en vogue à cette époque. On l'employait pour guérir les maladies de la peau et on le faisait entrer dans la composition d'un grand nombre de remèdes. On eut pour le savon, à l'état de produit pharmaceutique, l'engouement que l'on a aujourd'hui pour le camphre ou l'arnica, et, pour exploiter ses vertus curatives, on alla jusqu'à fonder une savonnerie à Pompéi, dont on montre encore aujourd'hui les vestiges au touriste.

Vers le VIIe siècle, la savonnerie est en progrès.

Les alchimistes caustifient l'alcali obtenu du lessivage des soudes naturelles, en y ajoutant de la chaux, et préparent ainsi une nouvelle et singulière application du savon.

Dans ce beau pays d'Italie, où tout s'épanouit au souffle de la poésie, ne vous étonnez pas de voir l'art de se blondir (*arte biondeggiante*) être

en grand honneur, principalement à Venise. En ce temps-là, en Italie, la beauté était blonde, et c'est au savon que la coquetterie féminine s'adressait pour obtenir la nuance à la mode. Les Vénitiennes ne se contentaient pas de passer sur leur balcon de longues heures au soleil, la tête couverte du chapeau sans fond nommé *solana;* elles humectaient avec une eau de savon leur belle chevelure, pour neutraliser le dangereux effet d'un soleil brûlant, en aidant son influence décolorante.

Ainsi, Messieurs, voilà une grande découverte, la caustification par la chaux, qui compte parmi ses premiers résultats un galant hommage rendu par la science à la beauté.

Jusque-là la fabrication du savon n'était encore que dans la période d'enfantement; ce n'est qu'à partir du XIIe siècle qu'elle se révèle à l'état d'industrie. Les fabriques proprement dites ne datent que de cette époque.

Les fabricants de Marseille, de Gênes, de Savone, d'Espagne, employaient à la saturation des huiles les soudes végétales qui leur étaient fournies par la Sicile, la Romagne, l'Espagne et le Levant.

Grâce au salicor de Narbonne et aux soudes végétales du territoire d'Arles, les Marseillais purent réaliser, dans la préparation de leurs lessives, une économie suffisante pour leur permettre de lutter avec avantage contre la concurrence étrangère; leurs produits étaient d'une régularité et d'une beauté irréprochables.

C'est sous l'influence de l'infatigable sollicitude de Colbert pour l'industrie française que Marseille enleva à ses rivales, Savone, Gênes et Alicante, le renom qu'elles s'étaient acquis dans la fabrication du savon.

Ici, Messieurs, se passe un fait inouï dans les annales de l'industrie et de l'histoire : la supériorité des savons fabriqués à Marseille atteignit un tel degré que le Sénat de Gênes s'en émut. Il décréta que tous les savons fabriqués à Gênes qui seraient reconnus de mauvaise qualité seraient brûlés en place publique, et le décret fut exécuté. Heureux temps où les grandes questions industrielles étaient ainsi l'objet de si vives préoccupations de la part des grands corps de l'État, malgré l'ardeur des luttes politiques et religieuses!

Malheureusement, Marseille ne se borna pas à lutter contre ses rivales par la beauté et la pureté de ses produits. Elle compromit de bonne heure la réputation de ceux-ci par de regrettables sophistications. La fraude se fit sur une large échelle, et les plaintes des consommateurs furent si vives qu'un édit royal intervint, en 1688, pour imposer à cette industrie une nouvelle réglementation.

Il fut interdit de fabriquer pendant les mois de juin, juillet et août.

Il fut enjoint aux fabricants de ne pas employer les huiles d'olive nouvelles avant le 1er mai de chaque année.

Les contrevenants furent sévèrement punis.

Ces prohibitions, impuissantes à empêcher la fraude, ne furent pas longtemps maintenues. Les plaintes continuèrent plus vives et plus générales.

Le mécontentement des consommateurs se traduit avec une grande véhémence dans une protestation adressée, en 1790, aux députés de Marseille aux états généraux, sous le titre de *Doléances des blanchisseuses et lavandières.*

Il y est dit :

C'est contre la fabrication du savon blanc que nous avons à nous plaindre, contre ces malfaiteurs qui le vicient d'une augmentation de poids.

Ces déloyaux fabricants incorporent dans ce savon 25 à 40 p. o/o d'augmentation de poids au moyen de l'eau empreinte de quelques sels légers de soude, et enlèvent par ce moyen au consommateur l'espérance du petit bénéfice qu'il peut attendre de son labeur, en ce qu'il ne trouve plus dans ce savon vicié l'usage qu'il lui procurerait s'il était intact, et le second dommage, c'est qu'il en paye une livre, et n'en reçoit que les trois quarts et souvent moins.

J'ai cité textuellement, Messieurs, car nous devons retrouver cette question de fraude, dans notre histoire contemporaine, posée absolument dans les mêmes termes, avec les mêmes savons et les mêmes pratiques, et nous rencontrons là une réponse anticipée à ceux qui ne craignent pas de la représenter comme un progrès.

Ces mêmes plaintes sont renouvelées à plusieurs reprises par la municipalité de Marseille et par la chambre de commerce.

Un décret rendu en 1811 impose aux fabricants l'obligation d'employer une marque particulière pour chaque espèce de savon, avec la désignation de l'huile employée, le nom et la résidence du fabricant.

L'année suivante, en vue d'obtenir que le savon porte avec lui sa garantie de bonne qualité, un nouveau décret prescrit que le savon de Marseille aura une marque particulière, un pentagone avec les mots : *Huile d'olive.*

Nous conservons encore aujourd'hui cette marque; mais il faut bien se garder d'attribuer au pentagone une signification quelconque au point de vue de la qualité. Les marques, loin d'offrir, comme autrefois, une garantie à l'acheteur, couvrent aujourd'hui les plus regrettables altérations.

Les mesures répressives se multiplièrent; mais la fraude ne disparut pas. Ce n'est pas avec la répression, quelque sévère qu'elle soit, qu'on relève une grande industrie aux yeux du consommateur. Si la savonnerie marseillaise a pu triompher de cette déconsidération que la fabrication frauduleuse jetait sur ses produits, c'est seulement par le respect que conserva la majorité des fabricants pour les traditions qui avaient fait jusque-là la fortune des savons de Marseille.

Les vices de fabrication, aussi bien que les compétitions, les guerres de peuple à peuple, les dissensions civiles qui ruinent l'industrie, servent de pierre de touche pour faire ressortir le mérite d'un bon procédé indus-

triel. Celui qui résiste à ces épreuves peut, à bon droit, être considéré comme une base indestructible.

Ce fut l'honneur de notre procédé marseillais de survivre aux désastres qui menaçaient de ruiner la savonnerie, et d'y trouver, au contraire, les éléments qui devaient l'amener à son plus haut point de perfection.

Le blocus continental, en arrêtant toutes les importations, privait la savonnerie marseillaise des soudes végétales que le développement de sa production l'obligeait à tirer de l'étranger, les soudes d'Arles ne lui suffisant plus. Elle courait à sa ruine.

Le Gouvernement, ému de cette situation, qui ne pouvait manquer d'anéantir une industrie devenue déjà un orgueil national, décréta la formation d'un comité de savants chargés de juger le meilleur procédé pour dégager du sel marin l'alcali précieux qui sert de base à la fabrication du savon.

Plusieurs systèmes furent examinés. C'est à cette époque qu'il fut question d'un procédé pour la fabrication du carbonate de soude par l'ammoniaque, qui fut depuis appliqué par un de nos maîtres et qui paraît devoir se développer aujourd'hui sur la même base de l'ammoniaque comme agent de transformation; mais la préférence fut donnée au procédé Leblanc.

Messieurs, c'est avec une fierté légitime que nous devons revendiquer pour la France cette immortelle découverte. C'est une grande révolution qui s'accomplissait dans le domaine industriel. Celles-là ont droit à l'admiration de tous.

Le procédé Leblanc consiste à extraire la soude du sel marin en le transformant d'abord en sulfate de soude au moyen de l'acide sulfurique, puis en transformant le sulfate de soude en carbonate à l'aide de la craie et du charbon.

Les conséquences de cette découverte furent considérables. Elles parurent d'abord menacer Marseille, en la dépossédant du monopole de la fabrication du savon. Avec l'emploi des soudes artificielles, cette industrie ne fut plus dès lors tributaire des soudes d'Arles, du salicor de Narbonne, du natron d'Égypte; elle put s'exercer sur toute l'étendue du territoire.

Mais Marseille trouva une large compensation dans l'avantage que lui fournissait le voisinage des salines. En 1804, des fabriques de soude se créèrent à ses portes et lui assurèrent à bas prix l'alcali nécessaire à sa fabrication.

Du reste, les grandes inventions du génie humain opèrent souvent des révolutions imprévues qui ajoutent encore à la valeur de leur résultat direct. La découverte de Leblanc ne créa pas seulement l'industrie des produits chimiques en France; elle fonda, par contre-coup, la trituration des graines oléagineuses à Marseille.

Avant cette époque, le savon n'était fabriqué qu'avec des huiles d'olive. Mais sous l'aiguillon de la concurrence que leur suscitait la création de l'industrie soudière, les fabricants de Marseille s'ingénièrent à rechercher les perfectionnements qui pouvaient leur permettre de conserver et d'étendre leurs débouchés. Grâce aux soudes artificielles, qui ne contenaient aucune proportion de potasse, l'emploi des huiles de graines devenait possible pour la fabrication des savons durs. On commença par mélanger l'huile d'œillette à l'huile d'olive, sans que cette addition altérât la beauté du produit. Ce résultat encouragea les chercheurs; d'autres expériences furent faites avec les huiles d'arachide et les huiles de sésame, avec lesquelles on produisit des savons excellents. Ce fut l'origine de la création à Marseille des fabriques d'huile de graines.

C'est donc à l'invention du procédé Leblanc que Marseille est redevable de ces deux magnifiques industries qui ont tant accru sa prospérité : les produits chimiques et la trituration des graines oléagineuses.

Dès ce moment Marseille prend sa grande place dans le monde industriel. Le commerce des huiles de graines se crée sur une vaste échelle; il donne lieu à un immense mouvement d'importation; il ouvre les pays les plus reculés à la navigation française, et y fait pénétrer, avec le prestige de la France, les fécondes idées de travail et de civilisation.

Vous le voyez, Messieurs, nous voilà loin de l'époque où le savon servait à guérir quelques maladies de peau et à blondir les belles Vénitiennes.

Depuis un demi-siècle, la savonnerie marseillaise a poussé bien loin l'étude des diverses huiles qui peuvent concourir à la fabrication du savon, et elle a hardiment progressé dans cette voie ouverte par les premières recherches de nos devanciers.

Nous employons aujourd'hui pour les savons marbrés, destinés aux usages domestiques, les huiles d'olive, les ressences, les pulpes; puis, suivant les qualités que l'on veut obtenir, les huiles de sésame, d'arachide, de coton, de lin, les saindoux et les suifs;

Pour les savons blancs mousseux de ménage, les huiles concrètes, coco, coprah, palmiste;

Pour les savons blancs destinés à l'industrie, l'huile d'olive et l'huile d'arachide;

L'acide oléique pour les savons d'oléine;

L'huile de palme pour les savons de palme;

L'huile d'olive extraite par le sulfure de carbone pour les savons verts.

Nous pensons qu'il est de notre devoir d'accueillir tous les corps gras que le commerce met à notre disposition; nous ne cessons de chercher là les améliorations utiles, qui sont la vie même de notre industrie; mais nous nous faisons un point d'honneur de rester fidèles à des procédés de fabrication à la perfection desquels nous ne pouvons rien ajouter.

Permettez-moi de vous indiquer brièvement la marche et le fonctionnement de ces procédés.

La première opération, l'*empâtage*, a pour but d'émulsionner l'huile avec une lessive de soude peu chargée en alcali, pour commencer la transformation des corps gras en acides gras, en éliminant la glycérine, qui ne jouerait dans le savon qu'un rôle inerte.

On procède ensuite au *relargage*, par lequel, grâce à une lessive alcalino-salée, on sépare le savon proprement dit des substances étrangères et de l'excès d'eau, qui gêneraient les opérations suivantes et en atténueraient les effets.

La *cuisson* se fait enfin par l'introduction graduelle de lessives fortement alcalines qui saturent le corps gras, en le convertissant en savon.

Il ne reste plus qu'à lever la cuite, en lui donnant la marbrure, s'il s'agit de savon marbré, ou en procédant à la *liquidation*, s'il s'agit de savon liquidé.

C'est ici, Messieurs, que se passe un phénomène que je signale à votre attention.

Dans le savon marbré, quand le savon est cuit, la pâte se présente sous l'aspect de grains détachés, sursaturés d'alcali et de sels divers, d'une couleur bleuâtre, due à une certaine quantité de savon alumino-ferrugineux, d'une consistance brisante, qui le rend impropre à l'emploi. Il s'agit de ramollir ce grain par l'agitation et le secours de lessives faibles pour arriver à la marbrure. Sous cette double influence, le grain se débarrasse de son exès d'alcali et de sels divers; en même temps la pâte se tuméfie, absorbe peu à peu l'eau qui lui est nécessaire, sans jamais dépasser les proportions que la loi des affinités chimiques lui assigne, 32 à 34 p. o/o, et elle indique elle-même, par la nature de son grain, le moment précis où l'opération de la marbrure est accomplie et où le savon est prêt. Si le grain n'est pas suffisamment *ouvert*, il ne reçoit pas toute son eau de constitution, il retient tous les sels de fer, et la marbrure blanche ne se forme pas. Si le grain est trop *ouvert*, il perd une partie de l'eau qu'il a normalement absorbée, les sels de fer se précipitent, et il ne reste plus qu'une pâte blanche. Il y a donc un point précis à rechercher, celui où le maximum d'hydratation est acquis, sans pouvoir être dépassé, ce qui constitue le rendement normal, point en deçà et au delà duquel la marbrure n'existe plus. C'est ce qui fait justement considérer la marbrure comme une garantie de bonne fabrication et le sûr témoignage de l'absence de toute altération par l'eau.

Dans le savon liquidé, après la cuisson, le problème est de fondre entièrement le grain, pour obtenir une pâte parfaitement homogène, dépouillée de tout excès d'alcali et de substances salines. Ce résultat est atteint par l'ébullition et avec le secours de lessives très faibles. La pâte se

liquéfie, devient fluide et transparente; elle laisse précipiter toutes les impuretés au fond de la chaudière, où se forme un savon inférieur, appelé *gras*, et elle ne retient jamais que la quantité d'eau nécessaire à la cristallisation, 32 à 34 p. o/o.

Le résultat de ces opérations frappe même les esprits les moins versés dans les connaissances scientifiques; ce résultat est de produire une pâte dépouillée de tout corps étranger, de tout excès d'eau ou d'alcali qui pourraient en troubler la pureté; c'est d'arriver, sans que la volonté du fabricant y soit pour rien, au savon normal, c'est-à-dire à une véritable combinaison chimique, sans possibilité pour le fabricant de se soustraire aux lois des affinités. Dans cette opération, qui s'effectue sur une masse de 16,000 à 18,000 kilogrammes, on obtient, par le seul fait de l'application du procédé marseillais, un produit contenant exactement les proportions voulues du corps gras, d'eau et d'alcali, comme si l'on opérait dans un laboratoire avec la plus minutieuse délicatesse.

Nous ne saurions payer un trop grand tribut d'admiration à nos ancêtres, qui, guidés par le seul désir de bien fabriquer, stimulés uniquement par la concurrence étrangère, nous ont légué, avec la réputation de leurs produits, un procédé auquel nous devons encore aujourd'hui l'immense extension de nos débouchés dans le monde entier.

Il ne manquait à ce procédé que la consécration de la science.

Il y a quarante ans, M. Chevreul vint apprendre aux savonniers qu'ils faisaient du savon, comme M. Jourdain faisait de la prose, sans le savoir, et que le procédé qu'ils employaient était tout simplement un modèle de perfection au point de vue scientifique.

Les vues de M. Chevreul sur la saponification sont d'un caractère tellement élevé, que je ne puis résister au plaisir de citer les savantes considérations sur lesquelles il s'appuie :

Le changement que les corps gras éprouvent pendant la saponification dans l'équilibre de leurs éléments étant déterminé par l'action d'un alcali, les corps qui se manifestent après la saponification, ou quelques-uns au moins, doivent avoir plus ou moins d'affinité pour les bases salifiables, et l'acidité n'étant que cette affinité portée à un certain degré d'énergie, on aperçoit sur-le-champ la possibilité que ces corps ou quelques-uns au moins possèdent le caractère des acides. Dès lors, la manifestation des acides stéarique, magarique et oléique, et celle des acides gras volatils après la saponification, se conçoivent sans peine, ainsi que la proportionnalité qui existe entre la quantité d'alcali qui opère la saponification et la quantité de corps gras qui est saponifiée.

Plus loin, M. Chevreul ajoute :

Dans la saponification, la graisse se divise en deux portions très inégales. L'une, au moins égale aux $\frac{92}{100}$ du poids de la graisse, est formée d'oxygène, de carbone et d'hydrogène; ces deux derniers sont entre eux dans un rapport peu différent de celui où ils se trouvent dans la graisse, mais leur proportion relativement à l'oxygène est plus forte que dans cette dernière. L'autre portion, également formée d'oxygène, de carbone et d'hydrogène, fixe de l'eau pour constituer la glycérine d'une densité de 1.27.

Cette page, Messieurs, est un des monuments historiques de la science française.

La théorie de M. Chevreul établit, avec une merveilleuse précision, que sous l'action d'un alcali les corps gras neutres se dédoublent en acides gras saponifiables et en glycérine qui s'élimine. Elle prouve d'une façon irréfutable que les réactions qui s'opèrent dans la transformation des corps gras neutres en acides gras sont soumis à des lois immuables; que le savon est le résultat non d'un simple mélange, mais d'une réelle combinaison chimique; que le savon est un sel, un oléo-margarate de soude à 16 équivalents d'eau.

Nous retrouvons la même démonstration dans les belles études de M. Berthelot sur la synthèse des corps gras.

Les savants travaux de M. Frémy sur la saponification sulfurique arrivent à la même conclusion. Ils consacrent ce dédoublement des corps gras en acides gras et glycérine, sous l'action de l'acide sulfurique.

C'est avec un sentiment profond de reconnaissance que nous invoquons ici ces grandes autorités scientifiques, dont les patientes recherches servent de point d'appui et de guide à notre fabrication.

La conséquence, vous le voyez, Messieurs, résulte de cette harmonie parfaite entre la pratique et la théorie : *Tout savon qui contient autre chose que les proportions d'acides gras, d'eau et d'alcali déterminées par les affinités chimiques, est un produit altéré après coup par la volonté du fabricant,* un produit sans nom dans le dictionnaire de la science.

Du jour où la savonnerie est éclairée par les études de M. Chevreul, elle s'élance vigoureusement dans la voie du progrès.

La chaudière à feu nu est abandonnée, le chauffage à vapeur la remplace.

De nombreuses fabriques se créent avec une installation nouvelle, qui réalisent toutes les économies possibles de main-d'œuvre et de frais généraux.

Des laboratoires de chimie sont annexés aux principales usines; le temps de la routine est passé; le règne de la science arrive. Le palais où l'œil du contremaître n'est plus l'arbitre des destinées de la fabrication, c'est le laboratoire qui analyse tout, qui juge tout, qui dirige tout!

Nous avons parcouru ensemble, Messieurs, l'historique de la savonnerie; nous avons apprécié la sûreté de ses procédés et de sa méthode; il nous reste à en suivre la marche dans les divers emplois auxquels le savon est destiné et les perfectionnements qu'elle ne cesse de poursuivre.

Les savons de Marseille se divisent en deux classes, au point de vue de l'emploi : savons destinés à l'industrie; savons destinés aux usages domestiques.

Les savons d'industrie doivent être complètement neutres, d'une pureté parfaite, d'une régularité de fabrication aussi grande que possible. Aucun

savon n'est mieux à même de réaliser ces conditions que le savon liquidé par le procédé marseillais, puisque c'est le seul qui ne puisse contenir, comme nous avons vu, aucun excès d'alcali ni de sels divers, aucune impureté, le seul qui, dans toute saison, ait une composition invariablement uniforme en acides gras, eau et alcali, sans que la volonté du fabricant y puisse rien changer.

Suivant le genre d'opérations auquel on le destine, on peut préférer le savon blanc extra à l'huile d'olive pure, le savon blanc à l'huile d'olive mélangée d'huile d'arachide, le savon de palme, le savon de pulpe, le savon d'oléine. Mais on n'obtient de résultats satisfaisants et de travail régulier que tout autant que ces savons sont complètement neutres.

S'il fallait un témoignage pour attester cette parfaite appropriation du savon neutre aux besoins industriels, nous en trouverions un, dont on ne saurait nier la valeur, dans le rapport de la commission nommée par la chambre de commerce de Manchester en 1868, à la suite des plaintes qui s'étaient élevées dans l'Inde sur les cotonnades de provenance anglaise. Le rapport en trouva la cause dans la mauvaise qualité des savons employés au blanchissage de ces cotonnades.

Le bon savon anglais, dit la commission de Manchester, n'est pas un amalgame de suif, d'eau et d'alcali, dans des proportions quelconques; c'est au contraire un composé chimiquement défini. Il contient 33 p. o/o d'eau, 60 p. o/o de suif et 7 p. o/o d'alcali.

La vérité ne peut qu'être la même partout, et nous avons la satisfaction de retrouver exprimées en fort bon anglais, et dans les mêmes termes, des conclusions dont nous n'avons jamais cessé d'être les défenseurs.

De toutes les industries qui emploient le savon, c'est la teinture des soies qui en consomme le plus. Il s'agit là d'une matière si riche et d'opérations si délicates que le moindre insuccès peut devenir ruineux. Aussi pour s'en garantir, en France comme à l'étranger, s'adresse-t-elle exclusivement au savon fabriqué par le procédé marseillais, qui seul présente les garanties complètes.

Mais, il faut bien le dire, de même qu'Aristide, que ses concitoyens se lassaient d'entendre appeler le Juste, le savon de Marseille a fini par fatiguer quelques esprits inquiets de sa grande notoriété. Pour ceux-là, il est devenu la tête de Turc sur laquelle on frappe, à la suite du moindre incident survenu dans certains emplois de teinture.

La soie teinte a-t-elle un toucher gras? C'est le savon.

La pièce d'étoffe présente-t-elle des petits points graisseux qui s'élargissent sous le cylindre? C'est le savon.

Les écheveaux se couvrent-ils d'une légère poussière blanche? C'est le savon, toujours le savon.

Messieurs, vous permettrez à une conviction bien profonde de s'affirmer ici catégoriquement.

Non, ce n'est pas le savon.

Le savon liquidé par le procédé marseillais et fabriqué spécialement pour la teinture, dans quelque fabrique que ce soit, est invariable dans sa constitution chimique; quand il satisfait une fois, il n'y a pas de raison pour qu'il ne satisfasse pas toujours.

En recourant plus souvent à l'analyse, en modifiant les dosages d'après ses résultats; en se mettant en garde contre les variations qui peuvent se produire dans la nature des eaux dont on se sert, par une méthode d'analyse rapide, comme l'hydrotimétrie par exemple, en ajoutant un peu de carbonate de soude quand les eaux sont calcaires, pour éviter la formation d'un savon de chaux insoluble, accident qui se présente fréquemment en teinture, je crois qu'il serait possible d'éviter la plus grande partie des inconvénients qui coïncident avec l'emploi du savon.

Je le crois d'autant mieux que, dans beaucoup d'établissements de teinture, le savon de Marseille ne donne jamais lieu à la moindre plainte.

Dans les fabriques de lavage et peignage de laine, dans les filatures et blanchisseries de coton, manufactures de drap, l'emploi du savon exige des soins moins délicats. Là les mécomptes de fabrication sont moins fréquents, et les conséquences en sont moins graves. Mais les habitudes, les préjugés sont les mêmes que dans la teinture des soies : l'emploi du savon y est considéré comme l'accessoire, il est rare qu'on se rende bien compte de sa valeur intrinsèque; le temps manque pour tout examiner.

Et c'est ainsi que s'explique cette invasion de tout ce qui ressemble à du savon dans tous les grands établissements qui opèrent sur le coton ou la laine, jusqu'aux savons de potasse, qui contiennent plus de 50 p. o/o d'eau. L'aveuglement est poussé à un tel point chez quelques industriels, qu'ils arrivent à croire de bonne foi qu'ils ont un avantage à fabriquer eux-mêmes ces savons de potasse, qui paraissent ne rien coûter, tellement le rendement par l'excès d'eau en abaisse le prix de revient. Comme si l'eau ajoutée à l'infini dans un savon pouvait procurer une économie quelconque!

Voulez-vous une preuve de cette facilité avec laquelle on accueille quelquefois les plus étranges innovations en fait de savon? Un grand industriel, certainement le plus renommé pour ses apprêts, empruntait au blanc d'œuf l'albumine; mais il lui restait les jaunes, dont il ne pouvait arriver à consommer qu'une faible partie, quoiqu'il eût soumis son nombreux personnel ouvrier au régime de l'omelette. Un célèbre chimiste, aussi ingénieux qu'habile, placé à la tête de cet établissement, eut l'idée de transformer ses jaunes d'œufs en savon. Cette originale conception eut son moment de succès, mais on ne tarda pas à se rendre compte que le jaune d'œuf était un faible et coûteux véhicule de l'alcali.

Il serait bien à désirer, pour mettre un terme à ces erreurs, à ces illu-

sions, à ces abus, que les industries liées à la savonnerie marchassent, au point de vue de l'emploi du savon, avec notre époque de contrôle et d'examen, et que, pour ne pas s'abuser sur la valeur du produit qu'elles emploient, elles consentissent à le payer non plus aux 100 kilogrammes, mais en raison de sa richesse en acides gras.

Là seulement est la logique, parce que là seulement est la sincérité.

Mais si les savons altérés mettent une certaine réserve à aborder la clientèle des grandes industries, où un contrôle quelquefois insuffisant peut cependant toujours les atteindre, ils ont plus de liberté d'allures dans le développement de leurs débouchés pour les besoins domestiques. Là le contrôle n'existe plus du tout; l'étiquette fait tout passer; la dénomination illégitimement usurpée de *Savon de Marseille* et la promesse fallacieuse d'un bon marché qu'on ne craint pas de garantir suffisent pour entraîner l'acheteur et le détourner de toute vérification.

Au nom de la vérité, et dans l'intérêt du consommateur, il faut le déclarer formellement, on ne peut pas trouver de savons réalisant les deux conditions essentielles de bonne qualité et de bon marché, en dehors des savons fabriqués par le procédé marseillais appliqué sans modification et sans retouche.

C'est en vain qu'on a cherché le secret du bon marché en dehors des données de la tradition et de la science. On n'y a jamais réussi, et ces tentatives ont toujours tourné au préjudice du consommateur. Les fabricants qui sont entrés dans cette voie n'ont pas même à se prévaloir d'une innovation de quelque valeur. Ils ont pris nos procédés; ils s'en servent pour faire le savon normal auquel ces procédés aboutissent; ils obtiennent le même produit que nous. Mais arrivés à ce point où le savon en chaudière est prêt, où il a la même composition que le nôtre et la même valeur, où il leur coûte exactement le même prix, que font-ils?... Quel secret ont-ils dérobé à la science pour donner au procédé marseillais un complément de perfection qui leur permette de réaliser à ce moment une économie sur nous?

Ce qu'ils font?... C'est bien simple: ils tamisent du talc, ou toute autre matière terreuse, sur le conduit qui mène la pâte du savon marbré dans le récipient appelé *mise,* ou bien, s'il s'agit du savon liquidé, ils transvasent le savon normal dans une chaudière où la pâte s'incorpore la quantité d'eau que l'on y a préalablement introduite. Voilà tout : de la terre ou de l'eau; l'imagination des innovateurs n'est pas allée au delà. Il ne s'agit pas le moins du monde, comme ils le disent, du triomphe du progrès sur la routine; car jamais on ne considérera comme un progrès l'art facile d'ajouter de l'eau dans le savon, ni comme un service rendu au consommateur le remplacement dérisoire d'une certaine quantité de savon utile par une substance inerte, sans utilité et sans valeur; ce n'est plus

même de l'industrie, comme le disait M. Balard dans son remarquable rapport sur l'Exposition universelle de 1855, c'est de la tromperie. Dans son rapport de 1867, M. Fourcade confirmait cette sévère mais juste appréciation.

Je laisse de côté l'altération des savons marbrés par une addition de matière terreuse. Après une courte période de succès, ces savons furent mis à l'index; l'acheteur ne fut pas longtemps dupe de ce perfectionnement, qu'on faisait miroiter à ses yeux en appelant les nouveaux savons : *Savons du progrès*. Ils avaient l'inconvénient de porter avec eux le signe trop visible de leur perfection; le talc se touchait du doigt et se déposait en une couche terreuse dans toutes les opérations du lessivage. Les tribunaux, en première instance, en appel, en cassation, ont sévèrement puni cette altération par l'addition de substances terreuses, lorsqu'elle se fait sans que l'acheteur soit prévenu. Quand au contraire on l'avoue, on ne trouve plus d'acheteurs, le débouché n'existe à peu près plus.

Les savons blancs surchargés d'eau furent une rénovation plus intelligente; cela s'appelle une rénovation. Là l'illusion était facile, l'eau ajoutée ne se trahissant pas à la vue. On baptisa ingénuement cette fabrication nouvelle d'un nom bien significatif, qu'on répudie aujourd'hui : *Savon blanc à l'augmentation*. . . Augmentation de pauvreté, bien entendu, et non de richesse, puisque ce qu'on augmente, c'est la quantité d'eau, et que cette augmentation a pour conséquence fatale une diminution de savon réel.

Il suffit de ce sincère exposé des bases de la fabrication nouvelle pour établir que, malgré le bas prix auquel elle aboutit, non seulement elle n'apporte aucune économie à l'acheteur, mais qu'elle lui cause encore un grave préjudice, en lui faisant payer des frais de transport sur une quantité d'eau inutile, et en lui fournissant un savon qui n'a d'autre mérite que de décheter en route et en magasin beaucoup plus que le savon normal.

Cette fabrication qui est bien ancienne, quoiqu'elle prétende au relief de la nouveauté, s'appuie, pour justifier son succès dans le passé et pour en préparer le développement dans l'avenir, sur des raisons qui ne tiennent pas devant un examen sérieux.

Je ne me sens pas le courage de les examiner devant vous, car elles reposent sur les plus grandes erreurs qu'on puisse commettre autant au point de vue scientifique qu'au point de vue industriel.

Je n'en citerai qu'une, pour justifier l'inutilité d'une réfutation.

Dans un document soumis au jury de l'Exposition de 1878, les fabricants de savon blanc augmenté donnent comme analyse du savon à base de palmiste, avant l'opération de l'augmentation :

Corps gras	72.50
Alcali	7.50
Eau	20.00

Or, la pratique de chaque jour établit que ces savons prennent invariablement 30 p. o/o d'eau de constitution.

Quelle confiance peuvent inspirer leurs autres déclarations? Non, ce n'est pas ainsi qu'ils pourront déposséder de son rang, comme ils le prétendent, la savonnerie restée fidèle au procédé marseillais, en la reléguant comme un glorieux souvenir dans je ne sais quel musée d'antiques.

Si l'on veut satisfaire au goût des acheteurs pour le savon mousseux, ce que je trouve très naturel, il est bien facile de se livrer à cette fabrication sans la falsifier par une addition d'eau, comme le fait la savonnerie qui respecte les traditions anciennes. Tant qu'on ne trouvera rien de mieux que de remplacer le corps gras utile par une substance inerte, par de l'eau, qui ne rend rien, et qui ne sert à rien, on ne présentera au consommateur que l'illusion et non la réalité du bas prix, et l'on n'arrachera aux vrais savons de Marseille ni leur légitime réputation ni le monopole du bon marché réel.

Il vaut mieux jeter un voile sur cette plaie de notre industrie; nous avons mieux à faire que d'engager ici une polémique contre des adversaires qui nous accusent de nous attarder dans les sentiers de la routine et de ne réaliser ni améliorations ni progrès.

Les Expositions universelles de 1849, 1855, 1867, qui toutes condamnent ces altérations et rendent justice aux efforts faits pour conserver à Marseille le type du beau savon, répondent à ce reproche.

Depuis nous n'avons pas dégénéré.

L'industrie marseillaise s'applique à utiliser tous les perfectionnements de la science moderne.

Elle se consacre chaque jour à la recherche de corps gras nouveaux; elle est, par ses études, en mesure d'employer immédiatement tous ceux que les transformations économiques peuvent amener à Marseille, dans des conditions qui permettent à notre fabrication de produire à bon marché.

Le laboratoire achève notre éducation et nous achemine vers ce but. C'est le laboratoire qui nous permet d'apprécier le mérite et la valeur de chaque huile au point de vue des services qu'en attend notre fabrication.

Nous apprenons là que tous les corps gras sont saponifiables et que la plupart sont capables de former avec la soude des savons solides, présentant tous les caractères du bon savon normal. Je citerai notamment les huiles de pulghère, de baobab, de rénéhala, d'illipé, de niger, de botha, de pontianack, qui font un excellent savon. Leur prix élevé s'est jusqu'ici opposé à leur emploi régulier dans notre industrie; mais grâce aux progrès de l'agriculture, à l'amélioration des moyens de transport, à l'infatigable initiative de notre commerce, nous touchons au moment où ces

corps gras, dont notre Exposition montre tous les spécimens avec les acides gras qui en dérivent, seront à notre portée. Car nous ne méconnaissons pas le devoir qui s'impose de produire à bas prix, quand il s'agit d'un article de première nécessité comme le savon.

Ainsi, Messieurs, religieux observateurs de la pratique ancienne à laquelle nous devons tant, nous nous efforçons encore de la rajeunir par la science.

On ne pourra jamais représenter comme en décadence une industrie qui a le glorieux privilège d'être imitée partout. Paris, Nantes, Rouen, la Suisse, l'Allemagne, l'Angleterre lui ont emprunté ses procédés de fabrication et lui rendent ce suprême hommage de donner à leurs produits le nom même de *Savons de Marseille*.

Nous ne repoussons aucune amélioration utile; nous ne sommes réfractaires à aucun progrès, mais nous ne cherchons le progrès que dans une production qui puisse assurer au consommateur, avec une qualité aussi bonne que possible, le bon marché réel.

Nous ne demandons ni réglementation ni mesures répressives; nous ne poursuivons le développement des progrès de notre industrie que par la vulgarisation de nos procédés de fabrication et des garanties qu'ils donnent, et nous ne l'attendons que du bon sens public loyalement éclairé. Ce sera le bienfait de notre Exposition universelle de contribuer à cet heureux résultat, en permettant à la vérité, trop souvent obscurcie par de fausses doctrines, de se propager partout.

Notre syndicat, institué pour la défense des intérêts généraux de la savonnerie, se voue avec ardeur à cette œuvre de défense commune contre la fraude par la propagation de la vérité. Il ne s'est pas fondé sous l'inspiration de la jalousie, et il n'est pas l'œuvre d'une coterie aristocratique, comme on a bien voulu le dire. C'est, au contraire, la fusion de tous les intérêts, grands et petits, en dehors de toute question de personnalité, de rang, d'opinion et d'importance de fabrication. La meilleure preuve, c'est que notre syndicat compte parmi ses membres le fils d'un honorable contremaître, enfant de ses œuvres, dont la fabrication est rangée, comme importance, parmi les plus modestes. On n'a jamais demandé aux fabricants qui en font partie autre chose qu'une fabrication basée sur les principes de loyauté qui sont l'apanage de la vraie savonnerie marseillaise.

L'œuvre du syndicat porte déjà ses fruits. Le retour de la consommation vers les savons normalement fabriqués s'accentue tous les jours.

Plus que jamais attachée aux bienfaisants principes de la liberté commerciale, la savonnerie marseillaise en sollicite aujourd'hui la complète application. Exonérée depuis quelques mois des taxes fiscales qui pesaient sur elle, elle voit déjà le bienfait de ce dégrèvement imprimer une vive impulsion à ses affaires. Qu'on l'affranchisse encore des dernières taxes

douanières, qu'on la débarrasse des dernières entraves administratives, et elle s'élancera avec plus de vigueur encore à la conquête de ses destinées.

Frappé du magnifique développement de l'industrie marseillaise, un de nos plus grands hommes d'État, que Marseille s'honore de compter parmi ses enfants les plus illustres, M. Thiers, à qui toutes les questions scientifiques et industrielles étaient si familières, rendait hommage, dans un ouvrage qu'il publiait en 1822, à la valeur de nos procédés de fabrication, et aux progrès qu'ils nous ont permis de réaliser.

Vous me pardonnerez, Messieurs, la bonne opinion que j'ai de l'avenir de notre industrie, en ne considérant mon jugement que comme le reflet de l'appréciation de ce puissant esprit.

Nous savons qu'il nous reste encore beaucoup à faire dans cette voie du progrès ; mais une industrie dont le passé remonte aux temps les plus anciens, dont l'histoire se lie si intimement à celle de notre pays, une industrie qui représente plus du tiers de la production française, qui occupe à Marseille plus de cent fabriques, qui donne la vie à plus de dix établissements de produits chimiques rayonnant autour d'elle, auxquels elle demande 300,000 quintaux métriques de soude, qui écoule une grande partie de la production des huileries qui lui doivent leur création, qui amène à Marseille, pour les répandre sur tous les grands marchés de France et de l'étranger, plus de 800,000 quintaux métriques d'huile de graines de toute sorte, dont 200,000 quintaux viennent se consommer dans ses chaudières, importation qui représente le chargement de plus de 1,000 navires ; qui, soit directement, soit par les opérations qui se rattachent à sa mise en œuvre, assure le travail de 20,000 ouvriers, une industrie dont les produits sont exportés dans toutes les parties du monde, m'a paru mériter de fixer quelques instants votre attention dans ce moment solennel où la France étale aux yeux des nations les merveilleuses richesses de son industrie.

Soutenue par les marques de sympathie que lui ont données et que lui donnent encore aujourd'hui toutes les plus grandes illustrations scientifiques de France, encouragée enfin par vos suffrages, la savonnerie marseillaise s'efforcera de maintenir les traditions qui ont fait la réputation universelle de ses produits, et auxquelles elle devra de pouvoir continuer à porter dans les pays les plus lointains le reflet de la grandeur industrielle de la France. (Applaudissements.)

La séance est levée à 3 heures et demie.

PALAIS DU TROCADÉRO. — 28 AOÛT 1878.

CONFÉRENCE

SUR

L'UTILISATION DIRECTE ET INDUSTRIELLE

DE LA CHALEUR SOLAIRE,

PAR M. ABEL PIFRE,

INGÉNIEUR CIVIL.

BUREAU DE LA CONFERENCE.

Président :

M. le baron DE WATTEVILLE, directeur des sciences et des lettres au Ministère de l'instruction publique.

Assesseurs :

MM. CHABRIER, ingénieur civil;
CORRENTI, commissaire général du gouvernement italien;
DESMAZES, sénateur;
LACASCADE, député;
LEBLANC, professeur à l'École centrale;
RICHARD, ingénieur civil, ancien président de la Société des ingénieurs civils;
SER, professeur à l'École centrale, ingénieur de l'Assistance publique.

La séance est ouverte à 2 heures 5 minutes.

M. le baron DE WATTEVILLE, *président.* Avant de donner la parole à M. Abel Pifre, permettez-moi, Messieurs, de vous retracer en quelques mots les préliminaires de la question qui va vous occuper.

Depuis longtemps l'attention du ministère de l'instruction publique était attirée sur les travaux de M. Mouchot, et il fut décidé, après l'avis

d'une commission spéciale composée des hommes les plus compétents, que M. Mouchot serait envoyé en mission pour appliquer ses théories ingénieuses. L'éminent professeur alla passer un an en Algérie, et dans ce pays de soleil constant il put faire ses expériences, qui furent couronnées par le plus éclatant succès.

Le ministère de l'instruction publique, qui avait eu l'honneur et le bonheur de faciliter à ce savant l'application de ses découvertes, s'est trouvé largement récompensé par les heureux résultats obtenus par son missionnaire. (Applaudissements.)

Je laisse maintenant à une voix plus autorisée et plus compétente que la mienne, le soin d'exposer les découvertes de M. Mouchot et l'importance de ses conquêtes scientifiques.

M. Abel Pifre. Messieurs, il existe un livre, malheureusement très-rare aujourd'hui, publié par Fournier il y a une vingtaine d'années; il a pour titre : *Le vieux neuf.*

Son auteur, en un jour de fantaisie originale, s'est attaché à soutenir cette thèse : que les découvertes récentes se rapportent presque toutes à des idées très anciennes, et méritent pourtant le nom d'inventions puisqu'elles résultent directement du progrès continu de la science. En effet, les chercheurs n'ont-ils pas chaque jour de nouvelles ressources d'investigations, qui leur servent d'échelle pour monter plus haut? Mais si nous nous inclinons, avec l'auteur, devant les intuitions supérieures des temps reculés, nous saluons surtout avec enthousiasme les solutions pratiques et les applications que la fécondité de l'heure présente met sous nos yeux.

Aucun sujet, Messieurs, ne peut mieux justifier la thèse de Fournier que celui dont je vais avoir l'honneur de vous esquisser les points principaux.

L'idée d'utiliser les rayons du soleil remonte aux premiers âges d'une antique civilisation; mais la réalisation de ce problème ne date que de quelques années, et son passage du domaine de l'expérimentation pure aux effets pratiques portera désormais la même date que notre belle Exposition de 1878.

Le soleil, Messieurs, a le grand rôle sur la surface de notre globe; et, sans parler d'une théorie qui ne tend à rien moins qu'à attribuer uniquement à sa chaleur le mouvement même de notre planète, on peut dire, sans exagérer, qu'il est le principe du mouvement et de la vie sur la terre.

L'auteur du mouvement! Oui, Messieurs, puisque, à part les marées et les phénomènes volcaniques dus au calorique interne, c'est lui qui balance, dans l'atmosphère, les différences de température et qui pompe

les vapeurs de l'Océan. Cause des perturbations météorologiques, le soleil promène les vents pour assainir l'air et transporter les pluies au plus haut des montagnes, d'où il les fait descendre, en fondant les glaciers, ces immenses réservoirs des rivières et des fleuves qui répandent leurs eaux en une juste mesure.

L'auteur de la vie! Oui, Messieurs, puisque, grâce à lui, grâce aux effets chimiques de sa lumière et de sa chaleur, la terre ouvre son sein à la germination des plantes et devient féconde, pour donner leur nourriture aux êtres animés.

Mais, après avoir admiré quelques instants ce grand travail du soleil dans la nature, ne sommes-nous pas amenés rationnellement à examiner si les habitants des contrées où le soleil règne en maître dans un ciel pur ne pourraient pas s'en faire un auxiliaire puissant, en utilisant ses forces généreuses?

Nous le croyons, et ce sera l'objet de ce rapide exposé; car, malgré tout l'intérêt que pourrait présenter l'étude historique des tentatives faites dans ce sens depuis des siècles, je ne vous en citerai que quelques-unes, afin de vous signaler les efforts tentés par des hommes illustres pour résoudre cette belle idée et pour appuyer aussi sur le mérite de celui qui vient de trouver la solution de :

L'utilisation directe et industrielle de la chaleur solaire.

Nous verrons en effet, par des données expérimentales plus que par la théorie, la possibilité d'atteindre ce grand problème, au moyen de récepteurs qui emmagasinent la chaleur atmosphérique, comme les barrages captent et retiennent les eaux des torrents et des rivières ; et cela sans difficulté, sans dépense, au moyen de simples appareils qui peuvent faire partie désormais du bagage du voyageur, du mobilier de la ménagère et surtout de l'outillage du cultivateur et de l'industriel.

Ici, Messieurs, se présentait une difficulté : pour ne pas me priver de la présence du savant inventeur, qui cache son savoir sous la modestie la plus désintéressée, j'avais promis de ne point le nommer; je remercie M. le Président de m'avoir tiré d'embarras, en disant tout de suite qu'il s'agissait de M. Mouchot. Je ne lui en appliquerai pas moins le mot que notre illustre et vénéré maître, M. Dumas, prononçait dernièrement dans une assemblée : «Il ne veut ni témoin ni récompense; sa modestie s'offense de tout éclat.»

Aussi est-ce tout bas, Messieurs, que je vous confie l'hommage reconnaissant qu'il m'est doux de rendre à l'inventeur et ami, pour les renseignements qu'il a bien voulu me communiquer, et à l'intérêt desquels je rapporterai toute votre bienveillante attention. (Applaudissements.)

Le sujet, Messieurs, m'écraserait par sa grandeur, si je ne me sentais

soutenu par l'idée des précieux résultats qui peuvent naître pour mon pays, pour le monde entier, des applications pratiques dont j'ai à vous entretenir. Elles doivent, je l'espère, faire participer dans un avenir prochain des régions déshéritées au bienfait de la civilisation et de la richesse, par des moyens simples et naturels dont la science les met en possession dès aujourd'hui.

Les tentatives pour utiliser la chaleur solaire remontent à la plus haute antiquité. L'initiative doit-elle en être attribuée aux Chaldéens, adorateurs du soleil ou du feu, ou aux Égyptiens, qui, connaissant la fabrication du verre, ont pu se rendre compte de sa propriété de concentrer la chaleur solaire?... Dès l'époque de Moïse, ce dernier peuple était déjà fort habile dans l'art de construire les miroirs; mais le célèbre mathématicien Euclide est le premier qui, dans un cours d'optique professé à Alexandrie 300 ans avant notre ère, ait indiqué les procédés pour fabriquer les miroirs en vue de concentrer les rayons solaires; et Archimède, qui fut vraisemblablement son élève, est le premier qui ait appliqué sa théorie d'une façon mémorable.

L'incendie des vaisseaux de Marcellus sous les murs de Syracuse est un fait qui a longtemps soulevé bien des doutes, mais dont l'existence peut s'affirmer aujourd'hui d'une façon absolue : on doit admettre avec Anthémius de Tralles, célèbre architecte, qui écrivait vers 580, qu'Archimède dirigea contre la flotte romaine l'étincelle incendiaire de plusieurs miroirs paraboliques; pareille conclusion fut donnée aussi par Kircher après des expériences faites à Syracuse même, pour démontrer la possibilité du fait obtenu par Archimède.

Les travaux de Duffay, physicien français, qui lui aussi, vers 1736, prit parti pour Archimède contre les idées de Descartes, les expériences de notre grand naturaliste Buffon, qui enflamma des planches avec des miroirs ardents à une distance de 68 mètres, affirment la vérité de l'important résultat attribué au plus grand géomètre de l'antiquité.

Les Romains connaissaient aussi les miroirs ardents. Ceux dont se servaient les prêtres de Vesta pour allumer le feu sacré présentaient même une particularité singulière. Plutarque nous apprend qu'ils avaient la forme d'une surface engendrée par un triangle rectangle isocèle tournant autour de l'un des côtés de l'angle droit, c'est-à-dire qu'ils avaient précisément la forme que l'état actuel de la question fait adopter comme la meilleure.

Autre particularité : ces miroirs étaient fabriqués en airain, alliage de cuivre et d'étain, le plus parfait qui se puisse employer encore aujourd'hui, après l'argent, pour réfléchir la chaleur. Enfin Pline raconte l'histoire curieuse des médecins utilisant de petits ballons en verre, de forme sphérique, remplis d'eau, pour concentrer les rayons solaires et cautériser

certaines plaies. Il ne nous est pourtant pas prouvé que les anciens connaissaient l'usage des lentilles.

Mentionnons encore la fontaine continuelle qu'imagina Héron d'Alexandrie, cent ans avant notre ère, et nous aurons indiqué sommairement, Messieurs, les essais divers de l'antiquité, après lesquels la question sommeilla dans un long oubli.

Le réveil eut lieu au moyen âge, époque à laquelle Al-Hazen, savant arabe, publia un traité d'optique, vers 1250. Dans cet ouvrage, il nous apprend que ses compatriotes, fidèles héritiers des civilisations d'Égypte et de Grèce, se préoccupaient de fabriquer des miroirs *caustiques,* ainsi qu'il les appelle.

On sait également que le Polonais Vitellio et le moine anglais Roger Bacon proposèrent, vers la même époque, chacun séparément, l'emploi de réflecteurs spéciaux. Ils furent imités dans cette voie par toute une série de médecins, d'auteurs et d'alchimistes. L'interprétation différente donnée par eux à l'expérience d'Archimède eut l'avantage de provoquer de nombreuses recherches et de contribuer beaucoup aux progrès des sciences physiques. Mais toutes ces tentatives ne sortirent guère du domaine spéculatif jusqu'au jour où, par une initiative hardie, Salomon de Caus, ingénieur français, s'empara de la question.

Ses travaux, oubliés, ont été mis en lumière quand furent découvertes les merveilleuses propriétés de la vapeur. C'est bien à lui que revient l'honneur d'avoir tenté en France la première application mécanique de la chaleur solaire; c'est bien lui qui eut l'idée de l'utiliser directement pour faire monter l'eau.

Par malheur, cet infatigable chercheur ne récolta point ce qu'il avait semé. Le fruit de ses travaux lui échappa, et les perfectionnements qu'il voulait donner à son idée ne furent qu'entrevus. Son imagination l'emportait toujours au delà du point acquis! Ce fut lui, notons-le, qui tenta d'expliquer la légende de la statue de Memnon, laquelle, dès l'aube, saluait l'astre du jour par des sons harmonieux. La voie de Salomon de Caus fut naturellement suivie par des explorateurs dont il avait stimulé les recherches, mais leurs efforts demeurèrent infructueux; et c'est ainsi que des inventions comme les orgues de Drebbel (le prétendu trouveur du mouvement perpétuel) et les horloges de Kircher ne sortirent jamais du domaine de la théorie. Toutefois, Milet de Châles et Bélidor, de 1621 à 1678, nous décrivent certains appareils avec des détails qui témoignent de préoccupations sérieuses voisines du progrès.

Il faut ensuite arriver à notre époque pour trouver de nouveaux essais importants : cependant, soyons justes envers de Saussure, physicien génevois, dont les belles expériences du commencement du siècle dernier tracèrent un rayon lumineux dans le champ des découvertes. Saussure fut

le précurseur de Ducarla, ingénieur français, mort en 1816, qui, après avoir étudié sous l'inspiration du maître l'action de la chaleur solaire sur l'air confiné, réussit à faire cuire sous des cloches de verre superposées des légumes et de la viande ; mais ni l'un ni l'autre de ces opérateurs ne s'était rendu un compte exact des causes de ces succès partiels, et tous deux laissèrent leurs appareils dans l'état primitif.

De Saussure ne s'expliquait pas la concentration de la chaleur sous les caisses vitrées qu'il employait; et il raconte ingénument que, dans son voyage scientifique au sommet des Alpes, il serait mort de soif si les guides ne lui avaient indiqué la possibilité de fondre la neige en l'appliquant contre les roches exposées au soleil. C'est donc à tort que l'on a baptisé les caisses de Saussure et celle de Ducarla du nom de marmites solaires, car cette dénomination implique au moins l'idée d'ébullition de l'eau, résultat important qui n'a été obtenu que de nos jours, comme le prouvera la fin de cet entretien.

Vers l'année 1800, William Herschell, en établissant sa doctrine de la transmission calorifique des corps, fit avancer considérablement la question. Il prépara les voies du progrès qui devait jaillir, trente ans plus tard, des belles expériences de Pouillet à Paris et de sir John Herschell au cap de Bonne-Espérance; tous les deux, en effet, déterminaient, presque aux antipodes, l'intensité de la radiation solaire et arrivaient au même résultat. Vers la même époque (1830-1840), MM. Melloni, Laprévostaye et Desains apportèrent aussi un point d'appui fort important: Melloni, en déterminant les lois de la transmissibilité des corps ; MM. Laprévostaye et Desains, en mesurant avec exactitude le pouvoir réflecteur des métaux par rapport à la chaleur solaire.

Enfin, Messieurs, il y a une vingtaine d'années, le grand ingénieur M. Franchot, inventeur d'une lampe qui porte son nom, eut l'idée de concentrer les rayons solaires, non plus sur un seul point à l'aide d'un miroir ardent ou d'une lentille, mais au moyen d'un réflecteur spécial en forme de demi-cylindre parabolique à foyer linéaire.

Malgré l'ingéniosité de l'idée, la chaudière allongée dont se servait M. Franchot, n'étant chauffée que d'un seul côté et restant exposée à l'air libre, perdait la plus grande partie de la chaleur absorbée et ne pouvait donner un résultat pratique.

Que d'efforts jusqu'en 1860, époque à laquelle M. Mouchot commence ses travaux, et que nous sommes encore loin du but ! J'ai à regret, Messieurs, passé beaucoup de noms illustres : la Cliche, Olivier Evans et d'autres, pour ne pas fatiguer votre attention ; mais je tenais à faire devant vous un acte de justice envers les devanciers de M. Mouchot. D'un seul coup d'aile serait-il arrivé au but s'il n'avait été entraîné par la persévérance de ceux qui, avant lui, soupçonnaient la vérité ?

C'était donc avec une passion insatiable qu'il poursuivait son problème, excité d'ailleurs par la critique de ceux qui l'appelaient un idéologue et un rêveur. M. Mouchot avait compris que la chaleur solaire pouvait être mise au service de l'homme. Les expériences de sir John Herschell au cap de Bonne-Espérance confirmaient son hypothèse. Le savant anglais n'avait-il pas constaté que les rayons verticaux à la surface de la mer suffiraient à faire fondre une épaisseur de glace de 0^{m},1915 par minute? M. Mouchot s'appuyait aussi sur les expériences de M. Pouillet et de M. Gasparin, qui étaient la preuve des précédentes.

La moyenne de ces résultats permettait de se rendre compte, en effet, qu'à Paris chaque centimètre carré reçoit régulièrement, lorsqu'il est exposé au soleil, environ une unité de chaleur par minute[1], de 8 heures du matin à 5 ou 6 heures du soir, pendant tout le cours de l'année; d'où il résulte que dans les mêmes conditions chaque mètre carré reçoit 10 calories par minute, ce qui équivaut à un travail de 0,94 de cheval-vapeur.

Tout cela est un peu théorique, j'en conviens, Messieurs; on ne peut recueillir les rayons du soleil sans intermédiaires, qui absorbent forcément une partie de la chaleur qu'ils reçoivent; mais il s'agit ici du calorique tombant normalement sur une surface plane, et il est facile de faire entrer en compte la puissance des réflecteurs comme compensation. L'usage prouve, en effet, qu'ils peuvent accumuler sur un espace aussi restreint que possible la presque totalité de la chaleur recueillie sur leur grande surface.

Tel fut le point de départ de M. Mouchot; mais ses premières expériences ne lui donnèrent pas les résultats qu'il en espérait. Le premier réflecteur qu'il construisit était demi-cylindrique et à foyer rectiligne, bien qu'il ne connût pas les expériences de M. Franchot. Il plaça dans l'axe de ce foyer une petite chaudière qu'il recouvrit de noir de fumée afin qu'elle absorbât mieux les rayons solaires. Malgré cette précaution, ce ne fut encore là qu'une réussite incomplète. Il fallait empêcher la déperdition de la chaleur absorbée. Mariotte avait établi déjà qu'une feuille de verre incolore laisse passer la chaleur lumineuse du soleil, mais devient un écran parfait pour toute chaleur obscure ou produite par un feu quelconque; M. Mouchot, s'emparant de ce fait si aisé à vérifier, résolut le problème d'une façon aussi simple qu'ingénieuse : il entoura sa chaudière d'un manchon de verre. Les rayons lumineux du soleil, réfléchis par le réflec-

[1] L'unité de chaleur dont il est question ici est celle que Pouillet avait adoptée pour ses expériences : c'est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré la température d'un gramme d'eau; c'est la millième partie de l'unité actuellement adoptée en physique industrielle et appelée du même nom *calorie*, mais correspondant à la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré la température de 1 kilogramme d'eau.

teur, traversent le manchon de verre sans difficulté, et, rencontrant les parois noircies de la chaudière, se transforment en rayons obscurs qui restent prisonniers dans l'enveloppe de verre, désormais impénétrable pour eux.

L'expérience réussit au delà de tout espoir: la concentration fut si rapide qu'un litre en étain, placé dans un bocal de verre, au foyer d'un réflecteur qui avait à peine un mètre carré de surface, fondit en moins d'une minute! La concentration pratique des rayons du soleil était découverte! La question poursuivie pendant des siècles, Messieurs, était résolue par un moyen si naturel que j'entends souvent au Champ de Mars les visiteurs des petits appareils de M. Mouchot s'écrier: Quoi! ce n'est que cela?... un entonnoir et un verre de lampe! Rien de plus simple, en effet, Messieurs, mais encore fallait-il le trouver; c'est l'histoire de l'œuf de Colomb.

Je n'ai nulle envie, Messieurs, de vous dissimuler la longueur des recherches qu'entraîna cette belle solution si merveilleuse par sa simplicité, et je ne sais ce que nous devons admirer le plus, des efforts persévérants de M. Mouchot pour perfectionner ses appareils, ou de l'idée généreuse, — qui fut son principal soutien, — de rendre sa découverte utile à l'humanité.

Qui pourrait vous dire l'émotion de l'expérimentateur lorsqu'il vit la fusion instantanée du plomb et de l'étain au fond de son creuset solaire? Mais ces résultats obtenus, un autre problème plus difficile et plus important se posait devant lui, celui de la vaporisation de l'eau. Un doute sur le succès de cette nouvelle tentative peut paraître étrange à ceux qui n'ont pas étudié la difficulté : pour fondre le plomb, en effet, il lui avait fallu une température de 335 degrés; dès lors comment n'atteindrait-il pas l'ébullition de l'eau, qui s'obtient à 100 degrés?

La capacité calorifique du plomb étant 0,039, c'est-à-dire un gramme de plomb exigeant 39 millièmes d'unité de chaleur pour que sa température s'élève d'un degré, si l'on suppose ce gramme de plomb à zéro degré il lui faudra, puisqu'il fond à 335 degrés, $0{,}039 \times 335 = 13$ unités de chaleur pour atteindre son point de fusion. D'autre part, comme il absorbera 5 autres unités de chaleur pour passer de l'état solide à l'état liquide, il lui faudra finalement pour se fondre 18 unités de chaleur. Dans ces mêmes circonstances, un centimètre cube de plomb pesant $11^{gr},4$ absorbera, pour se fondre, $18 \times 11{,}4 = 205$ unités de chaleur. Or, Messieurs, il en faut 706 pour faire passer un centimètre cube de glace à l'état de vapeur.

M. Mouchot eut encore le bonheur de résoudre ce problème; il constata même qu'il pouvait obtenir de la vapeur à plusieurs atmosphères, et il s'empressa de soumettre ses expériences à l'admiration de MM. les professeurs du lycée de Tours, ses collègues.

Eh bien! Messieurs, vous qui applaudissez sans réserve aux découvertes qui vont élargir prochainement les horizons de l'industrie, n'êtes-vous pas surpris que les premiers heureux résultats constatés en séance publique n'aient eu qu'un faible retentissement? Et, faut-il le dire avec un peu de confusion, je suis obligé de constater que ce sont les journaux américains qui, les premiers, éveillèrent l'attention des Français sur les travaux de M. Mouchot! Ils nous apprenaient, en effet, en 1868, que le célèbre ingénieur américain Ericsson venait de trouver le moyen de réaliser des moteurs solaires.

Un premier brevet, pris en 1860 par notre inventeur, plusieurs communications faites par lui à l'Académie des sciences, et la publicité des succès qu'il avait obtenus à Tours établirent facilement la priorité de son invention, très différente, d'ailleurs, — on l'a su depuis, — de celle de l'ingénieur américain. M. Ericsson, imitant sans le savoir M. Franchot, employait un réflecteur parabolique, et de plus n'avait pas songé à envelopper la chaudière d'un manchon de verre, ce qui est le merveilleux de l'invention.

Une grande épreuve restait à tenter pour déterminer le rendement d'un appareil de grandes dimensions. Ce fut le conseil général d'Indre-et-Loire qui facilita au professeur du lycée de Tours, dont la fortune n'excédait guère celle de la plupart des grands inventeurs (sourires), le moyen de constater que, toutes proportions gardées, le rendement des grands appareils était encore supérieur à celui des petits.

Il serait trop long de vous décrire la première grande machine dont M. Mouchot communiqua les détails à l'Académie des sciences en 1875. Le principe est le même, bien que la disposition des organes de cette machine soit déjà loin de celle qu'il avait adoptée pour les appareils de petit calibre. Il s'agissait alors d'orienter une chaudière contenant 20 litres d'eau et un grand réflecteur conique de $2^{m},60$ de diamètre.

Messieurs, la science marche vite, et vous pouvez voir tout près d'ici le plus grand réflecteur qui ait été construit dans le monde. L'inventeur en rapporte tout l'honneur à son pays : car, Messieurs, la France, quoi qu'on en ait dit, sait très bien encourager ses enfants, surtout ceux dont les idées peuvent être fécondes pour le bien général de l'humanité. (Applaudissements.) Je suis donc heureux de me faire ici l'interprète de M. Mouchot pour offrir ses remerciements à M. le Ministre de l'instruction publique, à l'Académie des sciences, à la Société d'encouragement, à l'Association scientifique, à notre honorable président, qui, le premier, signala ses travaux à l'attention du Gouvernement, et surtout à l'initiative privée d'un homme dont j'offenserais la délicatesse en vous le nommant, mais que vous reconnaîtrez tous quand je vous aurai dit que, sous le pseudonyme des sociétés savantes, il se trouve partout où il y a une idée nou-

velle à encourager, un progrès scientifique à réaliser, en un mot, Messieurs, je veux parler de celui que l'histoire appellera le *Mécène français.* (Applaudissements.)

Malgré les mauvaises conditions dans lesquelles l'appareil a été exécuté, il permet d'obtenir une force de 2 chevaux-vapeur. Avec l'appareil de Tours et une chaudière de 20 litres de capacité, M. Mouchot obtenait 140 litres de vapeur à la minute par un beau temps. Ce fut l'importance de ces résultats qui décida la mission scientifique de M. Mouchot en Algérie, il y a deux ans.

C'est là qu'il a pu recueillir des nombres fort importants pour la détermination de la quantité de chaleur reçue par minute et par unité de surface, et faire à ce sujet des remarques très curieuses. C'est ainsi, par exemple, qu'à 6 heures du matin, au sommet du Chélia, par une température voisine de zéro degré, M. Mouchot put faire bouillir de l'eau et fabriquer le café des guides qui l'accompagnaient en moins de temps qu'il n'en mettait dans les plaines du Sahara en plein midi. Ce fait, singulier à première vue, n'a rien qui surprenne, si l'on réfléchit que l'air au sommet des montagnes est plus pur et plus léger que dans la plaine, ce qui laisse aux rayons solaires une vive intensité; d'autre part, la pression étant diminuée, la température d'ébullition devient moindre; et les voyageurs n'ont-ils pas tous éprouvé que l'ardeur du soleil est quelquefois insupportable dans les ascensions les plus élevées, lorsqu'ils sont enveloppés d'un froid intense? «Jamais, dit Tyndall, célèbre physicien anglais, je n'ai tant souffert de la chaleur solaire qu'en descendant du Mont-Blanc en 1857; pendant que je m'enfonçais dans la neige jusqu'aux reins, le soleil dardait ses rayons sur moi d'une façon intolérable.»

M. Mouchot fit une autre remarque importante, c'est que la poussière n'exerce aucune mauvaise influence sur les résultats. Ainsi, au Sahara, par un siroco accablant, soulevant des nuages de sable, l'appareil qu'utilisait M. Mouchot pendant la tourmente a donné des résultats égaux à ceux obtenus en temps ordinaire; nous n'avons donc pas plus de motifs de redouter l'influence des poussières dans les pays chauds que celle du froid dans les pays montagneux ou hyperboréens.

Du reste, on se fait difficilement une idée, dans nos contrées souvent voilées de nuages, de l'immense quantité de chaleur qu'on peut recueillir chez les

Peuples dorés qu'a bénis le soleil,

comme dit le poète. En effet, chez eux le soleil rayonne onze ou douze heures par jour, et c'est avec des moyens peu coûteux que nous emprisonnerons désormais cette provision de chaleur.

On objectera que l'influence calorifique est interrompue pendant la nuit; nous montrerons bientôt comment on peut obvier à cet inconvénient.

Messieurs, vous avez pu devenir vous-mêmes les témoins de l'utilisation de la chaleur solaire; et, malgré une saison défavorable, où le ciel a été constamment chargé de vapeurs, vous avez sans doute assisté aux expériences, devenues désormais célèbres, que M. Mouchot a faites au Champ de Mars presque quotidiennement.

Ce n'est pourtant pas à la zone de Paris que sont destinées les applications industrielles de ces appareils; ils auront surtout le grand honneur, Messieurs, d'aller suppléer, dans les pays qui ne sont dotés que de soleil, au défaut de tous les agents combustibles.

Le sol des contrées du Nord et du milieu du globe est paré de forêts qui ont allumé les premiers foyers industriels; plus tard la terre a laissé pénétrer l'homme dans ses profondeurs pour en tirer la houille et la lancer dans les organes de ses puissants moteurs.

Grâce à l'art mécanique, les outillages lents et incomplets ont été remplacés. Les machines ont créé et multiplié des bras infatigables pour l'agriculture, et la vapeur a transporté l'homme et les produits de toute sorte d'un bout à l'autre des continents. Partout l'homme s'est approprié des forces auxiliaires dont l'emploi a surexcité son intelligence; et, depuis le grand jour où il a su convertir la chaleur en travail, on peut dire que le feu est devenu le dieu du commerce et de l'industrie.

Jamais idée ne fut plus féconde que celle de remplacer le combustible ordinaire par un foyer naturel, grandiose, inépuisable, qui est le bien commun du riche et du pauvre. (Applaudissements.)

M. Mouchot a réalisé cette conquête pacifique, en captant, pour ainsi dire, la chaleur du soleil et en l'emmagasinant au profit de tous les peuples d'Espagne, d'Italie, d'Orient, d'Afrique, d'Amérique... (Applaudissements.)

Il nous reste à examiner rapidement, Messieurs, les applications les plus immédiates des appareils de M. Mouchot.

La chaleur solaire semble, Messieurs, nous faciliter toute chose : elle simplifie les opérations et les perfectionne. Les appareils culinaires laissent aux viandes leur goût et leur jus, développent l'arome du café, cuisent les légumes sans les dessécher et laissent au pain la saveur du froment.

Quant aux applications industrielles proprement dites, nous considérerons surtout celles qui sont relatives à la chimie, au chauffage et à la distillation des liquides, et spécialement à la production de la force motrice. Un point très important aussi est la décomposition de l'eau par les piles thermo-électriques, fait capital pour les pays chauds, si richement dotés en minerais métalliques : témoin notre Algérie, dont l'exposition minière est toute une révélation. Quelle prospérité, Messieurs, atteindra l'industrie métallurgique lorsqu'elle obtiendra à vil prix l'oxygène et l'hydrogène, ces deux éléments du plus puissant des chalumeaux! Il suffira pour cela

d'adjoindre au récepteur de M. Mouchot des piles thermo-électriques; et elles ne manquent pas! A celle de M. Jobert, qui servit aux premières expériences de notre inventeur, je puis ajouter celle de M. Clamond, qui, depuis des années, fonctionne au laboratoire de la Sorbonne, et citer aussi les nouveaux procédés de M. Bouvet, qui semblent convenir mieux encore à la méthode de la décomposition de l'eau par les appareils solaires.

Du reste, il est beaucoup de minéraux qui pourront être réduits directement au foyer du réflecteur.

Dans un ordre d'idées parallèles, je citerai la calcination des calcaires et des gypses, qui sera si précieuse en Égypte, où l'on ne peut obtenir sans dépenses énormes la chaux et le plâtre dont l'utilité est incontestée.

Au point de vue de la chimie expérimentale ou pharmaceutique, les appareils de M. Mouchot offrent de grands avantages. Ils se prêtent à merveille au chauffage des liquides *par le haut,* puisqu'il suffit de passer un peu de blanc d'Espagne sur la base du réflecteur pour projeter uniquement les rayons calorifiques sur la partie haute du vase à chauffer.

Quant à la distillation, Messieurs, ces appareils s'y prêtent à merveille : ils suppriment les dangers d'explosion si nombreux dans les pays chauds; aucune inflammation n'est à craindre, puisque l'alcool ne peut s'enflammer directement par le soleil; et la plupart du temps on peut se dispenser de rectifier, ce qui tient à ce que le réflecteur étant plus large à sa partie supérieure qu'à sa partie inférieure, la vapeur s'y concentre à un très haut degré. Cela permet à M. Mouchot d'obtenir, du premier coup, des alcools à 80 degrés. Par la distillation, le soleil, qui dans la création a donné le parfum aux fleurs, le leur retire et le concentre pour l'offrir à l'homme. Il procède de même en laissant à l'eau-de-vie la saveur du fruit de la vigne. Jugez, Messieurs, des services que rendront ces appareils aux contrées où s'élaborent les parfums et les essences, à la Provence, à la Corse, à l'Algérie!

Je ne veux point omettre une des applications hygiéniques et confortables de ces appareils, celle de la fabrication de la glace sous toutes les latitudes ensoleillées. On pourra ainsi développer les industries relatives à la fabrication des boissons fermentées, telles que la bière, si difficile à obtenir si on ne peut rafraîchir les brasseries où on la fabrique, les caves où on la conserve.

Noublions pas non plus la distillation de l'eau de mer et les évaporations salines. . . Que sais-je encore, Messieurs?

En Cochinchine, en Bolivie, quels services ne rendront pas ces appareils en permettant de débarrasser les eaux, par l'ébullition, des matières calcaires et organiques qu'elles renferment et qui les rendent impotables pour les étrangers.

Je n'aurai garde d'oublier une application très importante en un temps où le Phylloxera menace de diminuer notre production vinicole. L'Algérie

produit d'excellents vins en quantité considérable, mais qui se troublent dans le transport. Grâce à une disposition élémentaire de l'appareil de M. Mouchot, nous pourrons bénéficier sans frais du merveilleux procédé de M. Pasteur pour le chauffage des vins et réparer en partie la disette de la France par la richesse de la colonie.

L'Espagne n'est pas moins intéressée que l'Algérie à la caléfaction des vins, car elle ne peut les conserver qu'à grands frais et en les additionnant fortement d'alcool; de plus, en les soumettant au chauffage avec l'appareil de M. Mouchot, elle pourra les faire voyager. J'ajoute même que l'emploi du soleil pour le procédé Pasteur produit un phénomène analogue à celui que j'ai fait remarquer pour l'eau-de-vie: il augmente le bouquet du liquide chauffé.

Enfin j'arrive au générateur solaire de M. Mouchot qui permet d'obtenir de la vapeur à toute tension et par conséquent d'actionner un moteur quelconque.

A vrai dire, un seul appareil solaire ne suffirait pas à faire marcher un moteur destiné à une grande usine; mais rien n'empêche de conjuguer plusieurs générateurs alimentant une chaudière principale. D'autre part, une grande quantité de chaleur, étant accumulée dans un réservoir spécial, pourra permettre de vaporiser certains liquides, tels que les éthers par exemple, dont les vapeurs possèdent encore une grande tension à des températures relativement basses : ce qui pourrait permettre de marcher avec la chaleur solaire même pendant la nuit !

Admettez encore, Messieurs, que l'on tienne à n'employer que la vapeur d'eau, le problème serait possible à résoudre : il suffirait d'accumuler pendant le jour une température très élevée dans un liquide qui peut se surchauffer beaucoup, tel que l'huile, par exemple, pour l'utiliser ensuite, afin de continuer la production de vapeur.

Mais j'y pense, Messieurs, puisque par la décomposition de l'eau on pourra se procurer à vil prix, pendant le jour, l'hydrogène et l'oxygène, il n'y aura point à se préoccuper du chauffage pendant la nuit; bien plus, la question de l'éclairage artificiel sera résolue du même coup; au reste, les services que rendront des moteurs pouvant fonctionner sans frais pendant dix ou douze heures par jour sont déjà assez nombreux pour nous dispenser d'insister davantage sur ce point particulier de la question.

J'arrive maintenant, Messieurs, à l'application la plus immédiate et la plus féconde des moteurs solaires, celle de l'élévation des eaux. L'agriculture est le produit de deux facteurs, a dit M. Gasparin, la chaleur et l'eau : les pays auxquels nous avons fait allusion possèdent le premier de ces facteurs; mais le deuxième leur fait défaut.

Il y a quelques jours à peine qu'un savant ingénieur, M. de Passy, disait, dans cette même enceinte, que l'emploi des eaux en agriculture était une

question de vie ou de mort pour nos provinces du Midi. Cela peut se dire à plus forte raison des pays chauds. Eh bien! Messieurs, si le temps l'eût permis, M. Mouchot se serait fait une joie de vous offrir la primeur d'une de ses expériences au Trocadéro et de vous convier à voir un appareil solaire élevant 3,000 litres d'eau à l'heure!

J'ai cité à la hâte nos plus importants résultats, Messieurs, et je résiste à l'entraînement de vous détailler nos plus légitimes espérances.

Le temps n'est-il pas venu, en effet, où l'Égypte remplacera l'antique noria par les pompes à vapeur, où le combustible solaire transportera l'activité industrielle sur les bords naguère silencieux du canal de Suez, où le désert verra monter à sa surface calcinée les nappes paresseuses des eaux souterraines. Alors, Messieurs, vous saluerez, avec les peuples qui vont bénir l'invention française, l'ère nouvelle du travail et du progrès dont ils goûteront enfin les bienfaits et la jouissance! (Vifs applaudissements.)

La séance est levée à 4 heures 5 minutes.

UTILISATION DIRECTE ET INDUSTRIELLE DE LA CHALEUR SOLAIRE DANS LES PAYS CHAUDS

CONFÉRENCE DE M. ABEL PIFRE

FIGURES ET LÉGENDES EXPLICATIVES DES APPAREILS

APPAREILS USUELS EXPOSÉS AU CHAMP-DE-MARS

ALAMBIC SOLAIRE
Faisant partie d'un petit appareil domestique complet.

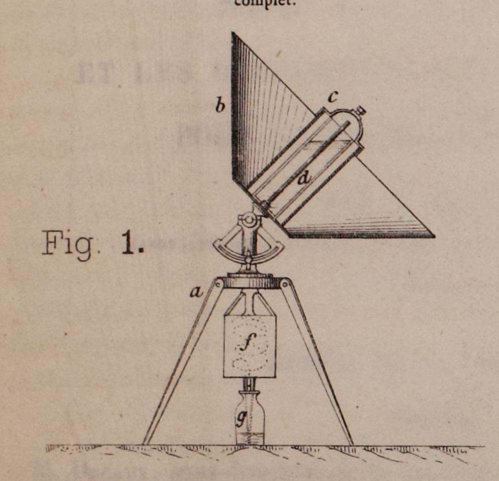


Fig. 1.

Tous ces appareils se composent d'un trépied *a* ou *a'*, d'un réflecteur *b* ou *b'*, et de diverses pièces se plaçant dans l'enveloppe de verre *c* ou *c'*.

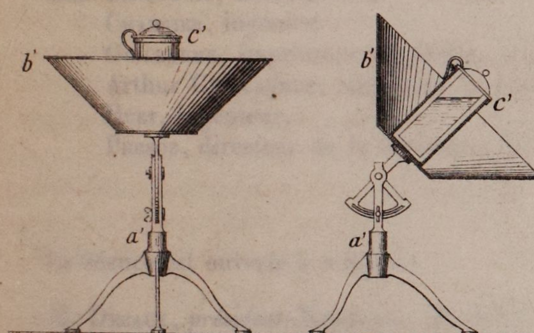
La *fig. 1* représente un alambic solaire orienté. Le vin est dans la chaudière noircie *d*; la vapeur s'échappe par le tuyau placé dans l'axe et va se condenser dans le serpentin *f* d'où elle tombe dans le récipient *g*. Un alambic semblable, exposé dans la salle des Missions scientifiques du Ministère de l'Instruction publique, muni d'un réflecteur ayant une surface de 1/5 de mètre carré, distille un litre de vin en une heure en donnant une eau-de-vie forte et franche de tout mauvais goût.

En mettant dans le manchon de verre, à la place de l'alambic, une marmite, une broche ou une cafetière, M. Mouchot fait cuire des légumes ou de la viande, rôtit un 1/2 kilog. de bœuf en 25 minutes, prépare 3/4 de litre de café ou de thé en une 1/2 heure.

C'est avec un appareil de ce genre qu'il a réalisé sans difficulté les délicates expériences de Tyndall sur la calorescence.

APPAREIL DOMESTIQUE SIMPLE

Fig. 2.



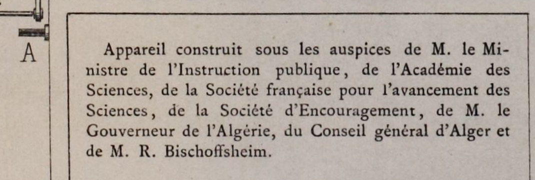
La *fig. 2* représente un appareil de campagne ou domestique facile à démonter et à transporter, analogue à celui dont M. Mouchot se servit pour préparer ses aliments en Algérie pendant la durée de la mission scientifique qui lui avait été confiée par M. le Ministre de l'Instruction publique.

GRAND GÉNÉRATEUR EXPOSÉ AU TROCADÉRO

Cet appareil, *fig. 3*, se compose : 1° d'une chaudière tubulaire **G** entourée d'un manchon de verre **H**. Elle est surmontée d'une chambre de vapeur **J**, d'une soupape de sûreté **K** et munie de niveaux d'eau **L**; 2° d'un réflecteur formé de nervures **M** en fer simple ⊥ supportant les plaques argentées et fixé sur la base de la chaudière; 3° d'un mécanisme spécial nécessaire à l'orientation et supportant la chaudière et le réflecteur.

A, vis engrenant avec le secteur **B** et permettant d'obliquer l'appareil suivant la latitude du lieu où l'on opère. — **C** pièce supplémentaire servant à consolider l'appareil dans la position précédente. — **Q**, manivelle permettant, par l'intermédiaire de pignons, des roues **R** et ***r*** et du secteur **F**, de faire décrire à l'appareil le mouvement diurne. — **D**, vis permettant de modifier au moyen du secteur **E** l'inclinaison de l'appareil suivant les différentes époques de l'année.

Fig. 3.



Appareil construit sous les auspices de M. le Ministre de l'Instruction publique, de l'Académie des Sciences, de la Société française pour l'avancement des Sciences, de la Société d'Encouragement, de M. le Gouverneur de l'Algérie, du Conseil général d'Alger et de M. R. Bischoffsheim.

Paris. Autog. Thierry et Cie 150, R. de Lafayette

Résultats d'expériences. — 2 sept. 1878. 70 litres d'eau en ébullition en 30 minutes. Pression de 6 atmosphères. — 12 sept. Pression de 7 atmosphères en 1 h. 40 minutes. Mise en marche d'une pompe, mais abaissement rapide de la pression. — 22 sept. Fonctionnement de la pompe sous pression constante de 3 atmosphères et alimentation de la chaudière par un injecteur. — 29 sept. Même expérience et fabrication d'un bloc de glace.

NOTA. — On doit se rappeler, pour apprécier justement les résultats fournis par le Générateur ci-dessus, qu'ils ont été obtenus avec un appareil encore sans précédent, sous le climat de Paris auquel il n'est pas destiné, et à une époque déjà fort avancée de la saison.

PALAIS DU TROCADÉRO. — 21 SEPTEMBRE 1878.

CONFÉRENCE
SUR LA TEINTURE
ET LES DIFFÉRENTS PROCÉDÉS EMPLOYÉS POUR LA DÉCORATION DES TISSUS,

PAR M. BLANCHE,

MANUFACTURIER À PUTEAUX, MEMBRE DU CONSEIL GÉNÉRAL DE LA SEINE.

BUREAU DE LA CONFÉRENCE.

Président :

M. Decaux, sous-directeur de la manufacture nationale des Gobelins.

Assesseurs :

MM. Braquenié, manufacturier, fabrique d'Aubusson;
Chabrier, ingénieur;
Guillaume, imprimeur sur étoffes, à Saint-Denis;
Arthur Guillaumet, teinturier, maire de Suresnes;
Huet, ingénieur.
Persoz, directeur de la condition des soies;

La séance est ouverte à 2 heures.

M. Decaux, *président*. Messieurs, M. Blanche, ingénieur civil et manufacturier à Puteaux, va vous donner quelques développements sur une industrie dans laquelle il s'est fait connaître d'une manière supérieure depuis de longues années déjà. Tous les procédés dont il va vous parler sont des procédés en cours ou des modifications qui ont été récemment introduites dans cette industrie. Je laisse donc la parole à M. Blanche.

M. Blanche. Mesdames et Messieurs, l'industrie de la teinture est une des plus anciennes qui existent. Dès que les hommes ont su filer, et avec le fil faire des tissus, ils se sont plu à les enluminer, à les décorer par des dessins et par des couleurs de diverses nuances.

Le besoin et le goût des couleurs sont tellement prononcés chez l'homme, que les peuples les plus sauvages décorent leurs vêtements et que ceux qui n'en portent pas se teignent la peau.

Nous retrouvons dans les ouvrages les plus anciens, c'est-à-dire dans la Bible, dans Homère, dans Moïse, des renseignements qui nous prouvent que l'art de la teinture était à cette époque non seulement connu, mais déjà assez perfectionné. Moïse parle dans un passage des belles étoffes et des belles couleurs de l'Inde.

C'est, en effet, dans l'Inde que l'industrie de la teinture a dû, sinon prendre naissance, du moins se développer plus facilement qu'ailleurs, parce que c'est le pays des matières colorantes; on y trouve une collection complète de produits susceptibles de donner les nuances les plus vives, le bleu, le rouge, le jaune, toutes couleurs qui ont dû naturellement plaire aux populations primitives. Homère, dans son *Iliade,* parle fréquemment de la couleur des vêtements de ses personnages, et c'est toujours l'Inde ou l'Égypte qu'il cite comme les pays qui produisent des tissus richement décorés. Avant d'aller plus loin, permettez-moi de définir la teinture.

Il ne faut pas confondre une matière colorée avec une matière colorante. Ainsi, par exemple, le chromate de plomb, l'outremer, les ocres, le noir de fumée, sont des corps colorés qui peuvent être utilisés en peinture, mais ce ne sont pas des matières colorantes. La différence entre la peinture et la teinture est celle-ci : en peinture, il suffit d'avoir une matière colorée et de la délayer dans un véhicule, qui sera de l'huile ou une gomme quelconque, puis de s'en servir pour décorer une surface. Avec cette peinture on pourra recouvrir tous les corps : du métal, du bois, des tissus, on masquera la surface première pour ne laisser voir que la matière colorée.

En teinture, il n'en est plus ainsi : il faut qu'il y ait une affinité toute particulière entre le principe colorant et le corps à teindre, et je vais vous prouver que toutes les couleurs ne s'appliquent pas indistinctement sur tous les tissus.

On divise les matières textiles en deux grandes catégories : les matières d'origine animale, comme la laine, le crin, le poil, les plumes, la soie; et les matières d'origine végétale, comme le lin, le chanvre, le coton, le jute. Les colorants qui sont propres à un tissu d'origine animale ne peuvent pas, dans beaucoup de cas, s'appliquer sur des tissus dérivés des végétaux.

La cochenille se fixe très bien sur la laine et très mal sur le coton. Voici

un morceau d'étoffe de laine avec des bandes de coton qu'on a plongés dans une cuve à teindre garnie de cochenille; la laine est devenue d'un rouge très vif et le coton est resté blanc.

Pour fixer les matières colorantes, c'est-à-dire pour les combiner aux fibres textiles, on se sert de ce qu'on appelle des mordants.

Quelquefois la laine se teint directement; il suffit de la plonger et de la faire bouillir dans un bain qui contient le principe colorant en dissolution; les molécules colorées abandonnent l'eau pour venir se fixer sur le tissu, et l'affinité est tellement grande que le bain s'épuise complètement et devient tout à fait incolore, tandis que l'étoffe teinte peut être lavée énergiquement sans rien perdre de sa vivacité; mais dans la plupart des cas on est obligé de faire intervenir un corps intermédiaire doué de propriétés chimiques telles qu'il s'empare du colorant, le rend insoluble et le fixe sur les fibres du tissu. C'est ce corps intermédiaire qu'on nomme le mordant.

Les mordants sont en général des sels métalliques; l'oxyde du métal se combine avec la matière colorante pour former avec elle une laque insoluble qui s'unit à l'étoffe.

Les sels d'étain et d'aluminium sont surtout employés pour les nuances vives; les sels de fer, de cuivre et de chrome donnent des tons sombres. Si donc un morceau de tissu est préparé avec plusieurs mordants appliqués en différents endroits, et si on le plonge dans une cuve de teinture, là où il y a un sel d'alumine, le colorant se précipitera en donnant lieu à une nuance vive, tandis que la partie imprégnée de fer deviendra très foncée. Si le même mordant a été employé dans différents états de concentration, on produira des effets dégradés d'un même ton. Voici un échantillon de coton qui a été imprimé dans ces conditions, puis il a été teint dans un bain de garance; les bandes mordancées par l'alumine sont rouges et roses, suivant le degré de l'alumine; celles qui ont reçu un sel de fer sont noires, et partout où il n'y avait pas de mordant le tissu est resté blanc.

J'ai voulu entrer dans ces détails pour vous donner connaissance d'une page de Pline qui nous prouve qu'à l'époque très reculée où il vivait, le phénomène des mordants était déjà connu.

Voici ce qu'il dit :

En Égypte, on peint jusqu'aux habits par un procédé des plus merveilleux. Sur le tissu on passe non point des couleurs, mais des substances sur lesquelles mordent les couleurs. Les traits ainsi menés sur le tissu ne se voient point, mais quand on l'a plongé dans la chaudière, on le retire chargé de dessins, et ce qu'il y a de plus remarquable, c'est que, quoique la chaudière ne contienne qu'une seule matière colorante, le tissu prend des nuances diverses.

A cette époque, les teinturiers n'avaient pas de notions chimiques

encore; cette science était inconnue; ils ne possédaient que des recettes qu'ils se transmettaient de père en fils.

Il est souvent question, dans l'histoire ancienne, d'une couleur très estimée alors : le pourpre de Tyr. Ce pourpre était un violet obtenu à l'aide de certains coquillages de l'espèce *Murex;* on en a continué la fabrication jusqu'au IVe siècle, et dans les ruines de Pompéi, on retrouve d'anciens établissements de teinturiers qui contiennent des amas considérables de *Murex*. Après la décadence de l'empire romain, il n'est plus question de teinture; les petits industriels continuaient sans doute à subvenir aux besoins du temps, mais aucune découverte sérieuse n'est signalée. On arrive ainsi jusqu'au XIIIe siècle; c'est alors qu'à Venise on trouve une nouvelle couleur importante, l'orseille.

L'orseille est un lichen que vous connaissez tous, que l'on utilise en pharmacie, à cause de ses propriétés adoucissantes et mucilagineuses pour préparer des boissons et des pâtes contre les bronchites.

Le lichen est incolore par lui-même, mais il contient un principe colorable, et quand on le soumet à l'action simultanée de l'ammoniaque et de l'air, l'oxydation le transforme en une matière colorante fort riche. Les Vénitiens ne connaissaient ni la chimie ni l'ammoniaque. Voici le mode de préparation qu'ils employaient et qui a été suivi jusqu'au commencement de notre siècle : on mettait le lichen dans des tonneaux ouverts, et on l'arrosait avec de l'urine. L'urine ne contient pas de colorant, mais, en se putréfiant, elle dégage l'ammoniaque qui détermine la réaction.

Du XIIIe siècle nous arrivons à l'époque de François Ier; c'est alors que Gilles Gobelin établit une teinturerie à Paris, sur les bords de la Bièvre. Cet établissement prit rapidement un grand développement. Gilles Gobelin, habile teinturier, s'était fait une réputation importante pour les rouges qu'il obtenait avec la cochenille et le mordant d'alumine. La nuance produite ainsi est vineuse; on ne l'accepterait pas aujourd'hui; mais à cette époque, on n'en connaissait pas de plus belle; c'était une nouveauté. Voici un échantillon de ce rouge.

La cochenille est un insecte qui vit ordinairement sur les cactus; originaire de l'Inde, on a essayé d'en faire la culture en Amérique, et c'est aujourd'hui le Mexique et Ténériffe qui en fournissent au commerce la plus grande quantité.

En 1630, Cornélius Drebbel, né en Hollande, fit une découverte importante, celle du mordant écarlate. Ce mordant, formé de bichlorure d'étain, donne, avec la cochenille, un rouge d'une grande vivacité; c'est le ponceau actuel, que vous connaissez tous. Cette couleur, inconnue jusqu'alors, eut un tel succès en Europe, que Colbert acheta le secret de sa préparation à un Hollandais, pour le donner à la fabrique des Gobelins, devenue propriété de l'État et où l'on venait d'établir la fabrication des tapisseries.

En 1650, les Hollandais importèrent de l'Inde les premières toiles peintes, dites toiles de Perse. Ce nouvel article plut beaucoup, et quelques fabriques se montèrent en Suisse pour imiter cette fabrication. Vers 1690, une première maison essaya de s'établir en France, mais des réclamations arrivèrent de toutes parts au Gouvernement; les toiliers poussèrent des cris en disant que leur industrie allait être sacrifiée, que les articles unis ne seraient plus demandés, et que la concurrence les ruinerait. Ils réclamèrent, non pas des droits protecteurs, mais bien la suppression complète de la fabrication de l'indienne, et leur influence fut telle auprès du grand Conseil qu'ils obtinrent une interdiction absolue de la nouvelle industrie en France.

Cette interdiction a duré soixante ans; ce n'est qu'en 1758 qu'un Suisse, nommé Abraham Fray, ayant su se concilier les bonnes grâces de Mme de Pompadour, put, à l'aide de cette protection, fonder à Corbeil d'abord, puis bientôt après à Rouen, la première fabrique de toiles peintes. La glace était rompue, l'interdiction levée pour tout le monde, et, en 1759, Oberkampf ouvrit le premier atelier de Jouy, qui devait plus tard prendre un accroissement considérable et acquérir une réputation universelle. Les premiers essais d'Oberkampf sont tout à fait conformes aux procédés suivis dans l'Inde; les mordants sont appliqués au pinceau, à la main, comme dans l'échantillon que vous avez sous les yeux; mais cette méthode, trop coûteuse et trop peu productive, a bientôt été remplacée, d'abord par l'impression à la main, faite à l'aide de planches sur lesquelles les dessins sont gravés en relief, puis, plus tard, par l'impression mécanique, c'est-à-dire à l'aide de cylindres en cuivre gravés comme la taille-douce.

En 1770, Michel Haussmann, de Colmar, établit à Rouen une fabrique de rouge turc; c'est le nom qu'on donne à ces belles toiles de coton teintes en rouge garance. Cette fabrication, créée d'abord à Andrinople, était restée longtemps secrète; Michel Haussmann, en l'introduisant en France suivant les procédés usités déjà en Suisse, avait acquis une certaine réputation, qui grandit bientôt à cause des perfectionnements importants qu'il apporta au mordançage des toiles destinées à cette teinture en garance.

Mulhouse était alors une petite république indépendante; l'interdiction française n'avait pu l'atteindre; aussi voyons-nous, dès 1746, une fabrique de toiles peintes établie dans cette ville par Kœchlin, dont le nom restera célèbre dans l'industrie qui nous occupe.

A partir de cette époque, l'Alsace augmente successivement le nombre de ses usines, et nous pouvons dire qu'elle s'est placée à la tête de l'industrie de l'indienne, non seulement par les progrès et par les perfectionnements apportés à sa fabrication, mais surtout par les recherches scientifiques qu'elle a faites pour se rendre compte des réactions chimiques qui se produisent dans les diverses opérations de la teinture du coton.

Après les travaux de Berthollet et de Lavoisier, la chimie était devenue une science dont la teinture formait une des principales branches; aussi voyons-nous paraître successivement un ouvrage sur l'action des mordants, par Dufay; un autre sur la teinture de la laine, par Hellot; puis Macquer publie un traité sur la soie, et Lepileur sur le coton. Tous les chimistes s'occupent des matières colorantes et des moyens de les utiliser. Les travaux de Bergman, de Berthollet, de Leuchs, de Chaptal, font faire des progrès considérables, et, à leur suite, arrive un homme que nous avons encore le bonheur de posséder, le doyen de nos savants, le contemporain, le collègue et l'égal des hommes les plus illustres du siècle, M. Chevreul, qui a étudié non seulement les propriétés chimiques des matières colorantes, mais encore les effets physiques que les couleurs produisent les unes à côté des autres dans la décoration. N'oublions pas notre contemporain Persoz, qui a fait un ouvrage extrêmement important sur l'impression des étoffes, ouvrage qui figure au premier rang dans la bibliothèque de tout indienneur.

Tous ces chimistes ont été puissamment secondés par des manufacturiers qui eux-mêmes se livraient à des recherches et publiaient libéralement le résultat de leurs travaux dans les bulletins de la Société industrielle; rappelons seulement quelques-uns des principaux noms : MM. Kœchlin, Hartmann, Schlumberger, Barbet de Jouy, Walter Crum, Dollfus, Gros, Steiner, etc. etc.

Passons maintenant à la fabrication actuelle. Les genres qui ont eu successivement un grand succès sont extrêmement nombreux; il serait impossible dans une conférence de les aborder tous. Nous nous contenterons donc de prendre les trois ou quatre types les plus remarquables.

Nous commencerons d'abord par le bleu de cuve. L'indigo est un produit solide, bleu, qui vient de l'Inde; il est complètement insoluble dans l'eau et dans tous les véhicules qu'on pourrait employer en teinture. On s'est figuré pendant longtemps qu'il avait une origine minérale. On l'appelait pierre d'indigo. L'indigo s'extrait des feuilles d'un certain nombre de plantes dans lesquelles il n'existe pas à l'état de matière colorée, mais seulement à l'état de principe colorable.

Nous n'entrerons pas ici dans le détail des procédés d'extraction; nous prendrons le produit tel qu'il est dans le commerce, c'est-à-dire solide, bleu foncé et insoluble dans l'eau froide ou chaude.

Si, après avoir réduit de l'indigo en poudre, on le met en présence de deux corps, l'un alcalin, comme la chaux ou la potasse, et l'autre très avide d'oxygène, comme le protosulfate de fer ou le protochlorure d'étain, il se produit une désoxydation; la couleur disparaît, le liquide prend une teinte jaunâtre, et l'indigo décoloré devient parfaitement soluble dans l'eau; mais le contact de l'air suffit pour ramener l'oxydation, et faire reparaître le bleu avec sa nuance et son insolubilité.

Pour obtenir une teinture en bleu, il suffit de plonger quelques instants le tissu dans le bain décoloré dont nous parlons, puis de l'étendre à l'air; l'oxygène régénère l'indigo à son état primitif, et, dans cet état, la teinture est solide; elle peut résister à tous les lavages.

On modifie à volonté l'intensité de la nuance, soit en faisant varier la proportion du colorant, soit en répétant l'opération plusieurs fois.

Maintenant que nous savons obtenir une teinture unie en bleu, voyons comment nous pourrons arriver à produire des dessins.

Nous avons dit que l'indigo bleu ne possède aucune propriété tinctoriale, tandis qu'à l'état réduit ou blanc il teint facilement. Si nous imprimons sur une toile un dessin avec une préparation très oxydante, un sel de cuivre, par exemple, et si nous plongeons ensuite la toile dans la cuve d'indigo réduit, toutes les parties blanches de l'étoffe vont prendre la teinture, mais là où a été déposée la préparation cuivreuse, l'indigo bleu se trouve régénéré avant de toucher le tissu; il forme un dépôt coloré sans aucun pouvoir tinctorial, de sorte que le dessin, qui apparaît en bleu foncé en sortant de la cuve, puis qui se confond avec le fond de la pièce lorsque l'oxydation à l'air a été suffisante, reparaît en blanc pur après un lavage qui entraîne le dépôt poudreux et non adhérent qui s'était formé au point de contact du cuivre. On a obtenu ce qu'on appelle une réserve en teinture. On peut arriver au même résultat par une autre méthode.

Le bichromate de potasse n'a par lui-même aucune action sur l'indigo, mais l'acide chromique en a une très énergique: il détruit le colorant bleu complètement. Si l'on imprime, sur une toile teinte en bleu, une couche générale de gomme mélangée avec une dissolution concentrée de bichromate de potasse, et si après le séchage on applique sur cette toile un dessin avec de l'acide tartrique simplement gommé, le bichromate de potasse se trouve décomposé; l'acide chromique, mis en liberté, ronge l'indigo et produit un dessin blanc sur les parties où l'acide tartrique a été appliqué. Cette méthode, dite rongeante, permet d'obtenir des effets plus fins et plus purs que ceux qu'on obtient par réserve.

Jusqu'ici nous n'avons pu produire que des dessins blancs sur fond bleu, mais si nous ajoutons, soit à notre réserve, soit à notre préparation pour enlevage, des sels d'alumine, la toile se trouvera mordancée dans les parties blanches, et nous pourrons, par une seconde teinture en garance, obtenir des dessins qui se détacheront en rouge sur le fond bleu.

Nous passons maintenant à un autre type, celui du rouge d'Andrinople, qui s'obtient par teinture à l'aide de la racine de garance.

On fait avec ce rouge des quantités considérables de pièces pour meubles, mais cette couleur très solide et très vive ne pourrait guère s'employer en étoffe unie pour vêtements et pour mouchoirs, si on n'avait pas trouvé le moyen de l'enrichir par des dessins variés de formes et de nuances.

La teinture en rouge turc se fait par des procédés divers, suivant les fabriques; mais le principe est toujours le même. La toile est d'abord fortement huilée, c'est-à-dire combinée avec un mordant gras, par des passages successifs dans des bains d'huile tournante, alternés avec des expositions à l'air, qui ont pour but d'oxyder le corps gras et de le fixer. On mordance ensuite en acétate d'alumine, puis on teint en garance. Après la teinture, on passe les pièces dans des bains de savon bouillants qui enlèvent la partie fauve du colorant et donnent à la nuance la vivacité que nous admirons.

Cette teinture est extrêmement solide; cependant un agent chimique peut la détruire, c'est-à-dire la ronger, suivant l'expression usitée en fabrique.

Cet agent chimique, c'est le chlore naissant. Voici le moyen de produire sur un fond rouge turc un dessin blanc: on imprime sur l'étoffe un dessin, avec une dissolution d'acide tartrique épaissie au moyen d'une matière gommeuse; on sèche et on fait ensuite passer la pièce au large dans un bain d'hypochlorite de chaux (vulgairement, du chlorure de chaux).

Le chlore, combiné avec la chaux, n'a pas d'action sur le rouge, mais là où l'acide tartrique a été appliqué, une transformation a lieu, il y a production de tartrate de chaux, et le chlore, mis en liberté, ronge le rouge et produit un dessin blanc. Il ne reste plus qu'à enlever la gomme par un bon lavage. Si, au lieu d'un effet blanc, on veut obtenir des effets de couleur, on mélange au rongeant d'acide tartrique soit des couleurs qui résistent à l'action du chlore, comme le bleu de Prusse, soit des mordants qui, à l'aide d'une nouvelle teinture, produiront des couleurs variées. C'est ainsi que dans l'échantillon que nous avons sous les yeux, et qui appartient à une exposition de la classe 48, section suisse, le blanc a été simplement rongé, tandis que pour le jaune le rongeant contenait un mordant de plomb; celui-ci, par une deuxième teinture en chromate de potasse, s'est transformé en chromate de plomb, c'est-à-dire en une couleur d'un jaune très vif et très solide à la lumière et au savon.

Nous allons maintenant examiner le genre garance, qui forme un troisième type. Nous ne pouvons entrer ici dans tous les détails des opérations nombreuses et compliquées de cette fabrication; nous devons nous borner aux principes généraux.

Le genre garance n'est pas, comme celui du bleu de cuve ou comme le rouge turc, une teinture générale de l'étoffe sur laquelle on trace des dessins à l'aide des réserves ou des enlevages; on suit la méthode que nous avons signalée au début de cette séance, c'est-à-dire qu'on imprime d'abord, sur le tissu blanc, des mordants qui devront, dans le bain de teinture, se combiner avec la matière colorante de la garance pour produire des nuances et des couleurs variées suivant le sel métallique employé.

Nous avons vu qu'un sel d'alumine ou plutôt que l'alumine fixée sur le tissu donne, avec la garance, des laques qui vont du rose au rouge, suivant la force du mordant. L'oxyde de fer, employé de même, produira du noir s'il est assez concentré, et des tons violets s'il est affaibli. Le mélange de fer et d'alumine donne des tons marron, grenat ou puce, suivant les proportions respectives. La première opération des articles garancés consiste donc dans l'impression des mordants qui devront concourir suivant leur nature à l'enluminage du dessin. Les sels métalliques, tels que ceux de fer, d'alumine et de chrome, sont généralement des acétates, parce que l'acide acétique est peu énergique et qu'il cède facilement sa base au tissu. Les mordants se fixent naturellement par une exposition des pièces à l'air pendant quelques jours, avec une température et un état hygrométrique convenables. Après le fixage, les étoffes sont passées dans un bain de bouse de vache. Ce procédé peut paraître singulier; la bouse ne contient, en effet, aucun principe colorant qui mérite d'être utilisé, mais elle jouit de la propriété de se combiner avec les sels métalliques et de les précipiter, elle s'empare de l'excédent des mordants, c'est-à-dire de la portion qui ne s'est pas unie au tissu, et l'empêche de se fixer sur les parties qui doivent rester blanches.

Après le bousage, les pièces sont lavées énergiquement et soumises au garançage, qui n'est autre chose qu'une teinture avec de la garance en poudre. Le bain, d'abord tiède, est élevé lentement jusqu'au bouillon; l'opération dure environ deux heures à deux heures et demie.

En sortant du garançage, les dessins se présentent avec toutes les couleurs qui dérivent des mordants employés, mais les rouges sont bruns et sans vivacité, les blancs sont ternis, malgré toutes les précautions qui ont été prises. Pour corriger ces défauts, on passe les étoffes dans deux ou trois bains de savon avec une température croissante jusqu'à 100 degrés, puis on lave fortement.

Le savon avive beaucoup les rouges en enlevant la matière fauve que contient toujours la garance; mais en outre il fournit à la couleur une matière grasse qui lui donne un éclat et une solidité qu'elle n'aurait pas sans cela.

Autrefois, pour achever de purifier les parties qui doivent rester blanches, on étendait les toiles sur les prés; les actions combinées de l'air et du soleil détruisaient les dernières traces de colorant que le savon n'avait pas enlevées; aujourd'hui on produit le même effet beaucoup plus rapidement à l'aide du chlore, mais il faut agir avec prudence pour ne pas altérer le tissu.

Quand on veut avoir dans un dessin des couleurs différentes et plus variées que celles qui proviennent de la garance, on est obligé de les imprimer après la teinture et après les savonnages, car beaucoup d'entre elles

seraient détruites par l'action alcaline du savon. Cette seconde impression porte le nom de rentrage; elle est faite ordinairement par des femmes, à l'aide de très petites planches; c'est ainsi qu'ont été imprimés les jaunes, les bleus et les verts des échantillons que vous avez sous les yeux.

La vivacité des nuances n'est pas toujours la cause de la beauté d'un dessin; beaucoup de personnes croient, à tort, que les couleurs de l'Inde sont plus brillantes et plus vives que les nôtres, et cependant, si on défile un morceau de cachemire de l'Inde, on est tout surpris de voir que les jaunes, les bleus, les verts et même les rouges ont moins d'éclat que nos laines teintes en Europe.

La vivacité que nous admirons tient surtout à l'harmonie des tons et au groupement des couleurs; c'est un point bien important et qui doit toujours préoccuper l'imprimeur sur étoffes.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que de la fabrication par voie de teinture; voyons maintenant ce qu'on appelle le genre vapeur, tant sur coton que sur laine, genre qui remonte à peine à soixante ans.

Je vous disais, au commencement de cette séance, que, pour teindre un tissu, il fallait le plonger dans une cuve contenant de l'eau, la matière colorante et un mordant, puis chauffer le tout.

Si, au lieu d'agir ainsi, nous imprimons sur un tissu blanc un dessin avec un bain de teinture très concentré et gommé pour éviter les effets de la capillarité et pour conserver la finesse des traits, et si après avoir séché cette impression, pour éviter les taches, nous la soumettons pendant quelque temps à l'action de la vapeur dans un espace clos, que va-t-il se passer?

La vapeur nous fournit tout à la fois de l'eau et une température de 95 à 100 degrés; le dessin est produit avec un mélange du colorant et du mordant; alors en chaque point du tissu qui se trouve imprimé nous avons un bain de teinture complet, local, mais dans les conditions nécessaires pour déterminer la teinture et fixer le colorant sur l'étoffe; c'est en effet ce qui se produit, et après ce fixage en vapeur, il ne reste plus qu'à laver la pièce pour enlever la gomme devenue inutile et l'excédent de couleur qui ne s'est pas combiné au tissu; le dessin reste dans le ton de la couleur employée.

Il est nécessaire que le bain de colorant qui sert à faire les couleurs d'impression soit concentré, puisque le tissu ne peut utiliser que la couche mince qui le couvre.

D'après ce que nous venons de dire, l'art de l'imprimeur consiste donc à reproduire sur les étoffes, et à l'aide de couleurs propres à la teinture, des dessins variés de formes et de nuances en combinant les tons de façon à les faire valoir, puis de soumettre le tout à l'action de la vapeur. Cette dernière opération prend le nom de fixage ou de vaporisage.

Il est évident que les couleurs doivent être bien étudiées avant leur emploi, car les retouches sont impossibles; l'imprimeur n'a pas, comme le teinturier, la ressource de replonger sa pièce quand la teinte n'est pas arrivée à point du premier coup.

Le vaporisage demande également des précautions: si la vapeur est trop sèche, les couleurs se fixent mal; si elle trop humide, l'effet de la capillarité se produit: il y a coulage des matières colorantes dans le tissu, les contours manquent de netteté.

Les dessins sont gravés tantôt en relief sur des planches de bois dur, du poirier, pour l'impression à la main, tantôt en creux, sur cuivre, à la manière de la taille-douce, pour l'impression mécanique.

Pour les effets enluminés, chaque couleur est gravée à part et l'impression se fait successivement; mais le vaporisage ne se répète pas: c'est toujours la dernière opération, avant le lavage, bien entendu.

Les genres garance sont souvent complétés par des couleurs vapeur, mais les difficultés sont assez grandes, parce que le tissu qui a été mouillé par la teinture et par les savonnages s'est dérangé; les planches, quoique très petites, qu'on est obligé d'imprimer après coup, ne s'encadrent plus exactement avec les autres parties du dessin.

La garance ne pouvant pas, comme la plupart des autres colorants, donner des extraits concentrés, à cause de son peu de solubilité dans l'eau, il était impossible de l'employer comme couleur vapeur; on a donc été forcé pendant bien longtemps de s'en tenir aux procédés que nous avons décrits; mais, dans ces dernières années, en 1869, une découverte des plus importantes, celle de l'alizarine artificielle, a ouvert une voie nouvelle aux indienneurs.

Vous savez que, depuis environ vingt ans, on a, par des transformations successives des produits de la houille, obtenu une collection magnifique de couleurs nouvelles beaucoup plus brillantes que celles que nous possédions jusqu'alors.

Toutes ces couleurs, sauf le noir, présentaient peu d'intérêt pour le coton au point de vue de la solidité, mais l'alizarine artificielle dérivée de l'anthracène est au contraire une couleur extrêmement solide; ce n'est pas une imitation de la garance, ou du moins du principe colorant de la garance; c'est ce principe même, obtenu par une réaction de laboratoire, possédant les mêmes propriétés physiques et chimiques, absolument comme le sucre de betterave est identique au sucre de canne, ou mieux encore comme l'acide oxalique produit par l'action de l'acide nitrique sur le sucre est identique avec l'acide oxalique extrait de certaines plantes.

L'alizarine de l'antrhacène a un avantage sur l'alizarine de la garance: elle est plus pure, exempte de matières étrangères fauves, elle a besoin de moins de bains de savon pour être avivée, et, dans beaucoup de cas, le

savonnage peut être évité et remplacé par des corps gras qu'on ajoute à la couleur ou au tissu.

Un autre avantage, le plus important, c'est que l'alizarine artificielle s'obtient à l'état de carmin concentré et qu'on peut l'employer comme toutes les couleurs vapeur, l'imprimer en même temps, la fixer de même et éviter toutes les opérations de bousage, de teinture, de savonnage et de chlorage inhérentes à l'emploi de la garance. La découverte de ce nouveau produit a causé une véritable révolution dans l'industrie de l'indienne; on était bien parvenu, quelques années avant 1869, à préparer une sorte de carmin ou extrait concentré de garance qui pouvait s'appliquer par voie d'impression comme les genres vapeur, mais l'emploi de cet extrait était, à cause de son prix, limité à certaines fabrications spéciales.

Nous pouvons ajouter que l'alizarine de l'anthracène est également utilisée avec un grand succès dans la teinture proprement dite, pour les fils et pour le rouge turc en pièce; aussi depuis quelques années la culture de la garance diminue-t-elle considérablement.

Les chimistes qui les premiers sont arrivés à transformer l'anthracène en alizarine sont MM. Graebe et Liebermann.

Nous avons parlé longuement du coton, parce que sur cette matière il y a bien plus d'occasions de produire des effets décoratifs par des réactions chimiques que sur la laine, qui ne permet pas l'usage des réserves ou des rongeants, sauf deux ou trois cas, que nous verrons tout à l'heure.

L'industrie de la teinture de la laine est aujourd'hui considérable; c'est la porte de sortie des immenses fabriques de tissus de tous genres qui filent et tissent des matières importées du monde entier, mais qui ne peuvent les livrer au commerce que teintes ou imprimées.

Au point de vue historique, nous avons vu que l'orseille a été utilisée pour la première fois à Venise en 1429, et que le mordant d'étain ou mordant écarlate appliqué à la teinture en cochenille avait été découvert par Cornélius Grebbel, Hollandais, qui en avait vendu le secret à Colbert en 1630.

En 1740, nous avons à signaler une autre découverte bien importante, celle de la dissolution de l'indigo dans l'acide sulfurique concentré.

Jusqu'à cette époque, l'indigo, tout à fait insoluble, ne pouvait être utilisé qu'à l'état réduit, c'est-à-dire en bleu de cuve; il était donc impossible de le mélanger avec d'autres matières colorantes pour produire les tons si variés de verts, de modes, de gris, etc., car pour le teinturier il n'y a en réalité que trois couleurs primitives, le bleu, le rouge et le jaune; toutes les autres ne sont que des mélanges de ces trois-là dans des proportions variables à l'infini; le bleu manquant laissait donc une lacune considérable.

La préparation d'indigo dans l'acide sulfurique, très soluble dans l'eau,

et douée de propriétés tinctoriales parfaites, n'est pas, comme on l'a pensé longtemps, une simple dissolution; c'est une combinaison chimique de l'acide sulfurique avec l'indigo pour former un corps nouveau, l'acide sulfo-indigotique. Cette réaction a été expliquée par M. Chevreul; elle est reconnue aujourd'hui par tous les chimistes, et le produit qui en dérive, le carmin d'indigo, dont la consommation est énorme en teinture de laine, est un sel, du sulfo-indigotate de soude, soluble dans l'eau et précipité seulement par des dissolutions salines. Tous les verts, excepté le vert lumière, qui provient de l'aniline, sont obtenus par un mélange dans un même bain de teinture d'une matière colorante jaune avec le carmin d'indigo ou avec l'acide sulfo-indigotique, quand la nuance est très foncée.

Après la découverte de 1740, bien des années se sont passées sans rien amener de remarquable, et ce n'est que vers 1840 qu'une nouvelle couleur. le bleu de France, est signalée.

On connaissait depuis longtemps le bleu de Prusse, que l'on obtient en précipitant un sel de fer par du prussiate de potasse, mais cette couleur, bonne pour la peinture, n'a aucun pouvoir tinctorial.

Si, au contraire, on plonge une pièce dans un bain de teinture au bouillon contenant du prussiate de potasse, de l'acide sulfurique et du chlorure d'étain sans aucune addition de fer, le tissu, d'abord jaune, prend peu à peu une nuance d'un bleu très foncé et très solide. Le fer qui entre dans la composition du prussiate de potasse à suffi pour produire dans ces conditions une nouvelle combinaison de fer et de cyanogène, insoluble, mais qui, se produisant sur le tissu, le teint d'une couleur bleue très belle, qu'on a nommée bleu de France.

Les rongeants, avons-nous dit, ne peuvent pas être employés sur laine, parce qu'ils ne détruisent jamais assez bien le colorant pour ramener le tissu à sa teinte naturelle. Le bleu de France fait exception à cette règle. Si sur une pièce de laine ou de soie teinte dans cette nuance on imprime un dessin avec de la soude caustique, le bleu est détruit immédiatement; il ne reste après le lavage qu'une trace jaune d'oxyde de fer, que l'on enlève facilement à l'aide d'un bain d'acide léger.

La maison Jourdan, de Cambrai, a exploité avec un grand succès un genre de réserve qui peut s'obtenir avec toutes les couleurs : c'est la réserve grasse ou réserve mécanique. On imprime à chaud un mélange de résine et de suif; il n'y a là aucune action chimique; le tissu est simplement masqué par un produit infusible à la température de l'eau bouillante, et la teinture se fait avec les matières tinctoriales ordinaires; seulement l'étoffe doit être tendue sur cadre pour éviter les taches que la résine, ramollie par la chaleur, pourrait produire. On ne peut imprimer avec cette réserve que des dessins peu détaillés, de formes lourdes, comme les pois, les lozanges, les couronnes, etc. Pour enlever la résine, on la brise en

passant la pièce entre des cylindres cannelés et on rince énergiquement; mais les tissus en laine douce ne peuvent supporter toutes ces opérations. La réserve Jourdan a eu un très grand succès pendant bien des années; elle était employée sur des étoffes d'une laine dure et brillante, dont voici les échantillons.

Après le bleu de France, nous entrons, à partir de 1856, dans une période magnifique pour la teinture. Une première découverte, celle du violet de Perkins, met sur la voie des belles nuances que l'on peut obtenir par les transformations des carbures d'hydrogène; les résidus des usines à gaz, les goudrons, sont étudiés dans tous les laboratoires, et l'aniline est soumise à des traitements tellement variés que nous voyons apparaître successivement, d'abord le rouge appelé fuchsine, découvert par Verguin, puis des bleus, des violets, des jaunes, des verts, des noirs, des tons composés, enfin une série admirable de couleurs infiniment plus vives que toutes celles que la nature nous fournit directement.

Je n'entrerai pas dans le détail de ces découvertes, qui ont fait le sujet d'une conférence dans cette enceinte; mais toutes ces couleurs nouvelles, dont la collection augmente chaque jour, ont rendu un très grand service à l'art de la teinture: elles ont simplifié bien des opérations; leur vivacité, trop grande pour la décoration des tissus pour meubles, les a, au contraire, fait admettre immédiatement par la mode pour les vêtements. Nous devons cependant signaler leurs défauts. Le premier, c'est qu'à l'air et à la lumière elles manquent un peu de solidité; le second, c'est que, pour beaucoup d'entre elles, il est difficile de les utiliser dans des couleurs mixtes, en les mélangeant avec les matières colorantes anciennes, parce qu'elles se comportent mal dans les bains chargés d'acides et de mordants, qui sont nécessaires pour fixer les matières colorantes végétales. Les mordants les plus employés pour teindre la laine sont les sels d'alumine et d'étain quand il s'agit de couleurs ordinaires, et de fer et de chrome pour le noir. Le bichromate de potasse n'est pas un mordant; mais lorsque, dans un bain au bouillon, on le met avec un acide en présence de la laine, la matière organique le décompose; il y a réduction, et l'oxyde de chrome mis en liberté se fixe sur le tissu et forme un mordant excellent pour le campêche, avec lequel il produit du noir. Le noir d'aniline n'a jamais pu, jusqu'à ce jour, être utilisé pour la laine, qui le désoxyde et le fait passer au vert bronze; il s'emploie au contraire avec un grand succès sur le coton, qu'il teint parfaitement d'un noir très mat et très solide.

Beaucoup de produits chimiques employés dans la teinture, tels que le sulfate et le bisulfate de soude, les acides sulfurique, chlorhydrique et oxaliques, le bitartrate de potasse, etc. sont désignés comme des mordants; c'est un tort; ils sont utiles; leur rôle est tout autre, ils facilitent la teinture en augmentant ou en diminuant la solubilité des principes

colorants, mais ils ne se décomposent pas pour céder au tissu, comme les sels métalliques, un oxyde qui attire la couleur et se combine avec elle.

Parmi les échantillons que j'ai l'honneur de vous soumettre, les uns sont de fabrication indienne, d'autres sont des types de Jouy; ceux-ci nous représentent les genres garancés, c'est-à-dire obtenus par teinture, avec des effets rentrés à la main, et enfin ces derniers sont des types de la fabrication actuelle avec l'alizarine artificielle imprimée en même temps que les autres couleurs vapeur et cadrant parfaitement avec elles.

Voici enfin des échantillons de l'Alsace, de Mulhouse, qui a tant contribué aux progrès de l'industrie des toiles peintes; l'un est entièrement imprimé à la planche; l'autre, fait au rouleau avec des effets fondus par la gravure, a reçu ensuite quelques rentrures à la main.

Avant de terminer, permettez-moi, Messieurs, de vous rappeler que, dans la magnifique Exposition universelle que nous admirons tous, il y a une place qui n'a pas été occupée, c'est celle de l'Alsace. Cette place n'a pas été prise par ordre; nous n'avons pas ici à discuter cet ordre. Mais, puisqu'il était impossible à l'Alsace de faire voir ses produits, et que nous savons qu'elle souffre dans son industrie, dans ses affaires, dans ses affections, je suis heureux de pouvoir au moins vous prouver qu'elle soutient courageusement la lutte, qu'elle continue à marcher à la tête du progrès et que sa fabrication n'a pas dégénéré.

Je suis heureux enfin de pouvoir, de notre Exposition universelle, lui adresser un fraternel salut. (Salves de bravos et d'applaudissements.)

M. Decaux, *président.* Nous remercions M. Blanche de la communication qu'il vient de nous faire et des renseignements très complets qu'il nous a donnés sur une industrie dans laquelle il est un expert des plus consommés.

Il nous a fait, au commencement de la séance, un historique très intéressant de l'art de la teinture, et nous a montré différents échantillons qui forment certainement une des collections les plus curieuses qu'on puisse conserver. Nous renouvelons nos remerciements à M. Blanche. (Applaudissements.)

La séance est levée à 4 heures.

---

colorants; mais ils ne se décomposent pas pour céder au tissu, comme les sels métalliques, un oxyde qui attire la couleur et se combine avec elle.

Parmi les échantillons que j'ai l'honneur de vous soumettre, les uns sont de fabrication indienne, d'autres sont des types de Jouy; ceux-ci nous représentent les genres garancés, c'est-à-dire obtenus par teinture, avec des effets rentrés à la main, et enfin ces derniers sont des types de la fabrication actuelle avec l'alizarine artificielle imprimée en même temps que les autres couleurs vapeur et cadrant parfaitement avec elles.

Voici enfin des échantillons de l'Alsace, de Mulhouse, qui a tant contribué aux progrès de l'industrie des toiles peintes; l'un est entièrement imprimé à la planche; l'autre, fait au rouleau avec des effets fondus par la gravure, a reçu ensuite quelques rentrures à la main.

Avant de terminer, permettez-moi, Messieurs, de vous rappeler que, dans la magnifique Exposition universelle que nous admirons tous, il y a une place qui n'a pas été occupée, c'est celle de l'Alsace. Cette place n'a pas été prise par ordre; nous n'avons pas ici à discuter cet ordre. Mais, puisqu'il était impossible à l'Alsace de faire voir ses produits, et que nous savons qu'elle souffre dans son industrie, dans ses affaires, dans ses affections, je suis heureux de pouvoir au moins vous prouver qu'elle soutient courageusement la lutte, qu'elle continue à marcher à la tête du progrès et que sa fabrication n'a pas dégénéré.

Je suis heureux enfin de pouvoir, de notre Exposition universelle, lui adresser un fraternel salut. (Salves de bravos et d'applaudissements.)

M. Descos, *président*. Nous remercions M. Blanche de la communication qu'il vient de nous faire et des renseignements très complets qu'il nous a donnés sur une industrie dans laquelle il est un expert des plus consommés.

Il nous a fait, au commencement de la séance, un historique très intéressant de l'art de la teinture, et nous a montré différents échantillons qui forment certainement une des collections les plus curieuses, qu'on puisse conserver. Nous renouvelons nos remercîments à M. Blanche. (Applaudissements.)

La séance est levée à 4 heures.

PALAIS DU TROCADERO. — 14 SEPTEMBRE 1878.

CONFÉRENCE

SUR

LA FABRICATION DU SUCRE,

PAR M. VIVIEN,

EXPERT-CHIMISTE, PROFESSEUR DE SUCRERIE.

BUREAU DE LA CONFÉRENCE.

Président :

M. Champonnois.

Assesseurs :

MM. Bailly, architecte de la ville de Paris.
Corenwinder, chimiste et fabricant de sucre à Lille.
Dubrunfaut, chimiste à Paris.
Dureau, directeur du Journal des fabricants de sucre.
Georges, président du Comité central des fabricants de sucre.
Linard, ingénieur, fabricant de sucre.
Villette, ingénieur, constructeur mécanicien.

La séance est ouverte à 2 heures.

M. Champonnois, *président,* donne la parole à M. Vivien.

M. Vivien. Mesdames, Messieurs, dans la conférence que je vais avoir l'honneur de vous faire, je m'occuperai spécialement du sucre de betterave.

DÉCOUVERTE DU SUCRE DANS LA BETTERAVE. CRÉATION DES PREMIÈRES USINES.

Olivier de Serres, dans son traité d'agriculture, signalait, en 1605, la présence du sucre dans la betterave, mais n'allait pas plus loin que cette constatation.

En 1747, Margraff, un chimiste attaché à l'institut de Berlin, annonçait que le sucre contenu dans la betterave était du sucre cristallisable, du sucre prismatique, et qu'on pouvait l'obtenir sous forme de candi à l'aide d'un travail plus ou moins compliqué.

Margraff en resta là également, et c'est à Achard, un chimiste d'origine française, mais né en Prusse, que revient l'honneur d'avoir extrait le premier, en 1796, du sucre de la betterave.

Grâce à la munificence royale, deux fabriques de sucre furent fondées alors en Silésie, sur les bords de l'Oder.

Mais le sucre qu'on y fabriquait revenait à un prix excessivement élevé, à 9 fr. 50 cent. environ la livre. Quelques fabriques se montèrent en Allemagne; bientôt aussi on en installa en France.

En effet, au moment où cette industrie prenait naissance, le blocus continental était décrété (21 novembre 1806); le sucre de canne fit défaut, et il fallut songer à combler les lacunes que sa disparition laissait dans l'alimentation publique; les savants se mirent à étudier les procédés qu'il convenait d'employer pour extraire le sucre de la betterave.

Les premiers essais ne donnèrent pas de résultats satisfaisants, et ce n'est que longtemps déjà après l'établissement du blocus continental que Chaptal vient annoncer à Napoléon Ier que Benjamin Delessert avait trouvé enfin le moyen de faire du véritable sucre avec la betterave, dans son usine de Passy. Immédiatement l'empereur se rendit à l'usine, le 2 janvier 1812; il s'en fit ouvrir les portes, se rendit compte de tout, admira tout et donna à Benjamin Delessert la croix de la Légion d'honneur; le lendemain, le *Moniteur universel* annonçait qu'une grande découverte venait d'être accomplie, et le 15 janvier 1812 le décret suivant était publié :

DÉCRET PROMULGUÉ LE 15 JANVIER 1812 (1).

Titre premier. — École de fabrication pour le sucre de betterave.

1° La fabrique des sieurs Barruel et Chappelet, plaine des Vertus, et celles établies à Wachenheim, département de Mont-Tonnerre, à Douai, à Castelnaudary, sont établies comme écoles spéciales de chimie pour la fabrication du sucre de betterave.

2° Cent élèves seront attachés à ces écoles, savoir : quarante à celle des sieurs Barruel et Chappelet, et, à celles de Wachenheim, Douai, Strasbourg et Castelnaudary, chacune quinze. Total cent.

3° Ces élèves seront pris parmi les étudiants en médecine, pharmacie et chimie.

Il sera donné à chacun d'eux une indemnité de 1,000 francs, lorsqu'ils auront suivi l'école pendant plus de trois mois et qu'ils recevront des certificats constatant qu'ils

(1) Extrait de la *Collection des lois* par Duvergier, 2e édition, tome XVIII, page 106, 4; Bull. 414, n° 7599.

connaissent parfaitement les procédés de la fabrication du sucre et qu'ils sont dans le cas de diriger une fabrique de sucre.

Titre II. — Culture des betteraves.

4° Notre ministre de l'intérieur prendra des mesures pour faire semer, dans l'étendue de l'Empire, cent mille arpents métriques de betteraves.

L'état de répartition sera imprimé et envoyé aux préfets avant le 15 février.

Titre III. — Fabrication.

5° Il sera accordé, dans tout l'Empire, cinq cents licences, pour la fabrication du sucre de betterave.

6° Ces licences seront accordées de préférence :

A tous propriétaires de fabrique ou de raffinerie;

A tous ceux qui ont fabriqué du sucre en 1811;

A tous ceux qui auraient pris des dispositions et fait des dépenses pour établir des ateliers de fabrication pour 1812.

7° Sur ces cinq cents licences, il en est accordé, de droit, au moins une à chaque département.

8° Les préfets écriront à tous les propriétaires de raffinerie, pour qu'ils aient à faire leur soumission pour l'établissement desdites fabriques, en fin de 1812.

A défaut par les propriétaires de raffinerie d'avoir fait leur soumission au 15 mars, ou au plus tard au 15 avril, ils seront considérés comme ayant renoncé à la préférence qui leur était accordée.

9° Les licences porteront obligation, pour celui qui les obtiendra, d'établir une fabrique capable de fabriquer au moins 10,000 kilogrammes de sucre brut de 1812 à 1813.

10° Tout individu qui, ayant reçu une licence, aura effectivement fabriqué environ 10,000 kilogrammes de sucre brut provenant de la récolte 1812 à 1813, aura le privilège et l'assurance, par forme d'encouragement, qu'il ne sera mis aucun impôt ni octroi sur le produit de sa fabrication pendant l'espace de quatre années.

11° Tout individu qui perfectionnera la fabrication du sucre, de manière à en obtenir une plus grande quantité de la betterave, ou qui inventera un mode de fabrication plus simple et plus économique, obtiendra une licence pour un plus long terme, avec l'assurance qu'il ne sera mis aucun impôt ni octroi, pendant la durée de sa licence, sur les produits de sa fabrication.

Titre IV. — Création de quatre fabriques impériales.

12° Quatre fabriques impériales de sucre de betterave seront établies, en 1812, par les soins de notre ministre de l'intérieur.

13° Ces fabriques seront disposées de manière à fabriquer, avec le produit de la récolte de 1812 à 1813, 2 millions de kilogrammes de sucre brut.

Titre V. — Création d'une fabrique dans le domaine de Rambouillet.

14° L'intendant général de notre couronne fera établir, dans notre domaine de Rambouillet, aux frais et profits de la couronne, une fabrique de sucre de betterave pouvant fabriquer 20,000 kilogrammes de sucre brut avec le produit de la récolte 1812 à 1813.

Ce décret devait avoir pour résultat immédiat de donner une grande impulsion à l'industrie naissante. Il se créa, en effet, sur tous les points de la France, des fabriques de sucre. La culture de la betterave entra dans l'assolement cultural.

Malheureusement le blocus continental touchait à sa fin. Quand il fut levé, le sucre des colonies, qui, manquant de débouchés, était accumulé en quantités considérables, fit irruption sur le marché français; les fabriques de sucre de betterave ne purent soutenir la concurrence, et la plupart d'entre elles s'écroulèrent.

PROPRIÉTÉS DU SUCRE. — ANALYSE ET SYNTHÈSE; FORMATION DU SUCRE.

Qu'est-ce que le sucre cristallisable? Je ne puis, sans entrer dans des définitions scientifiques, et en laissant de côté les formules, mieux vous faire comprendre quelle est la composition chimique du sucre de canne qu'en vous disant que c'est un composé, c'est-à-dire une espèce de mélange formé de charbon de bois et d'eau. Lorsqu'on associe ces deux éléments, le charbon ou carbone et l'eau, dans les proportions suivantes : carbone, 42 kilog. 1; eau, 57 kilog. 9, on obtient 100 kilogrammes de sucre.

La preuve est facile à faire : vous prenez du sucre, vous le disposez dans un tube avec une série de substances chimiques destinées à décomposer les hydrocarbures qui se dégagent, vous chauffez au rouge, et, comme résultat final, vous recueillez de l'eau et du charbon.

Est-ce à dire que nous pourrions faire l'inverse et, étant donné de l'eau et du charbon, reconstituer du sucre?... Malheureusement la science n'est pas arrivée à ce degré de perfection, la synthèse du sucre n'est pas encore faite, et nous sommes obligés de nous adresser aux plantes pour obtenir le sucre.

Beaucoup de plantes de notre climat ont la propriété de produire le sucre. La sève de l'érable (*acer saccharinum*), du maïs, du sorgho saccharin, etc. contiennent des quantités plus ou moins considérables de sucre cristallisable; mais la plante qui doit nous occuper ici, c'est la betterave dite *à sucre*, parce qu'elle seule en contient en quantité suffisante pour permettre l'extraction du sucre économiquement en France.

Comment le sucre se produit-il dans la betterave? La science n'a pas encore, à cet égard, de données bien certaines. Suivant les uns, le sucre se fait dans les feuilles sous l'action de la chlorophylle, avec l'acide carbonique de l'air qui peut alors se combiner avec les hydrates contenus dans la sève et les tissus végétaux; suivant d'autres, au contraire, le sucre se ferait dans les racines.

Je dois dire qu'avec la première hypothèse l'explication de la formation du sucre me paraît très difficile.

En effet, pour obtenir le charbon nécessaire à la formation de 100 kilogrammes de sucre, il faut 82,500 mètres cubes d'acide carbonique; l'air atmosphérique n'en contient que 4/10,000; pour faire 100 kilogrammes de sucre, il faudrait donc que la feuille de la betterave fût mise en contact de 206,000 mètres cubes d'air, et que tout l'acide carbonique qui y est contenu fût absorbé. Si nous réfléchissons à la quantité de betteraves qui poussent rien que sur le sol de la France, où 25,000 hectares de terre sont cultivés annuellement en betteraves, nous trouvons qu'il faudrait, pour expliquer de cette façon la production saccharine, une quantité d'air égale à 2,060 milliards de mètres cubes d'air.

Il faut donc nous rejeter sur la seconde hypothèse et conclure que le sucre se fait dans la betterave à l'aide de l'acide carbonique qui existe en abondance dans le sol. L'atmosphère souterraine est beaucoup plus chargée d'acide carbonique que l'air ambiant, et il se trouve en plus dans le sol des quantités considérables de carbonates qui, se décomposant sous l'influence des acides végétaux et minéraux, donnent lieu à un dégagement d'acide carbonique considérable et suffisant pour la formation du sucre qui s'accumule dans les betteraves. Un exemple pris en dehors de la betterave nous facilitera l'explication de la genèse du sucre.

Considérons la pomme de terre et voyons la valeur de l'opinion émise par M. Blondeau au sujet de sa croissance.

Elle contient une matière qui n'est pas du sucre, mais qui s'en rapproche beaucoup. La fécule, en effet, au lieu de contenir 42 kilog. 1 de carbone et 57 kilog. 9 d'eau, en contient 44 kilog. 45 et 55 kilog. 55 d'eau.

Dans le sucre de canne, il y a un peu moins de carbone et un peu plus d'eau que dans la fécule. Là est toute la différence.

Lorsque vous plantez une pomme de terre, vous voyez les bourgeons sortir; ils se développent et donnent naissance à des tiges et à des feuilles. Tout cela se fait au détriment de la fécule emmagasinée dans la pomme de terre; puis il arrive un moment où cette substance s'épuise : alors la pomme de terre émet des racines, et aucun trouble n'apparaît dans la plante, qui continue à se développer et à se constituer comme précédemment. Il se forme donc de la fécule directement dans les racines; elle monte dans la plante, entraînée par le courant de la sève, et elle se transforme successivement en cellulose, pour constituer les tiges, les feuilles, bref, la plante proprement dite. Et cette sécrétion de la fécule est, à un moment donné, tellement considérable, qu'elle dépasse les besoins du développement du végétal et que de nouvelles pommes de terre se forment, qui emmagasinent à leur tour de la fécule, pour servir à une nouvelle végétation, lorsque, après les avoir recueillies, vous les mettrez en terre l'année suivante.

Eh bien! la betterave, il me semble, doit se comporter en terre de la

même façon : le sucre doit se former dans les racines; il contribue, dans les premiers temps, au développement du végétal lui-même, en se transformant en cellulose et autres hydrates de carbone qui forment la plante, puis à un moment donné le développement du végétal s'arrête et le sucre s'accumule de plus en plus dans les racines. L'année suivante, lorsque vous mettez la betterave en terre, le sucre disparaît peu à peu et donne naissance à des bourgeons, d'où sort une tige élevée et abondante; lorsque le végétal est arrivé en graine, il n'y reste presque plus de sucre.

Les faits étant ainsi expliqués, on voit de suite une grande similitude entre les végétaux et les animaux, et l'on s'aperçoit de nouveau que la nature ne fait rien par secousse et que tout ce qui a été créé s'enchaîne parfaitement.

Les racines sont l'estomac des végétaux. La sève en sort toute formée, pour de là circuler dans le végétal, comme le chyle sort de l'estomac des animaux pour circuler sous forme de sang dans les artères; et la partie devenue superflue pendant la nutrition s'échappe sous forme de gaz par les feuilles, qui ont une fonction analogue aux poumons des animaux et servant d'exutoire aux produits devenus inutiles.

Vous voyez comment, d'après ces données, le sucre se forme dans la betterave. Mais ce ne sont encore là que des hypothèses, et, si vraisemblables qu'elles soient, il ne faut donc pas y attacher autrement d'importance.

Le sucre étant formé et accumulé dans la betterave, occupons-nous des moyens de l'extraire, et examinons sommairement la fabrication proprement dite.

FABRICATION DU SUCRE.

Si vous voulez presser une betterave, vous n'en retirerez pour ainsi dire pas de jus, et cependant à l'analyse on constate qu'elle contient 85 p. 0/0 d'eau, et 10 1/2 p. 0/0 environ de sucre qui est soluble dans l'eau, soit 95 1/2 p. 0/0 environ de parties liquides contre 4 1/2 seulement de parties ligneuses solides à l'état de matières spongieuses. A certains moments, après les orages, l'eau de la Seine contient plus de matières solides en suspension qu'il n'y en a dans la betterave, et cependant la betterave est un corps solide, tandis que l'eau de la Seine, quoique boueuse à ce moment, n'en est pas moins liquide.

Prenez une betterave, et râpez-la à l'aide d'une râpe extrêmement fine : vous obtiendrez une espèce de bouillie d'où le jus s'écoulera immédiatement quoiqu'on n'y ait ajouté aucune quantité d'eau. C'est donc par suite d'une organisation spéciale que ce corps, qui devait être liquide, se présente à nous sous la forme d'un corps solide.

La première opération que nous devons faire en sucrerie consiste à

déchirer les tissus ou cellules de la betterave, de façon à permettre au jus qu'ils renferment de s'épancher au dehors.

Cette opération porte le nom de *râpage*.

Avant de faire subir à la betterave cette opération, on doit la laver. Vous voyez sur le premier tableau, à gauche, un laveur. Ce laveur se compose d'un tambour de tôle ou de bois, qui a été imaginé par Champonnois, et qui est encore aujourd'hui le meilleur appareil de ce genre, parce qu'il n'abîme pas trop la betterave.

Quelquefois il y a avec la terre des pierres qui sont adhérentes aux betteraves; on a imaginé, pour les éliminer, des appareils qu'on nomme des *épierreurs*. Ils sont basés sur un phénomène de différence de densité, et disposés de telle façon que les pierres descendent à la partie inférieure, tandis que les betteraves restent à la partie supérieure. A l'Exposition, vous pourrez remarquer un appareil de ce genre; c'est l'épierreur Collas, de Dixmude (Belgique), envoyé par la maison Lecointe frères et Villette, de Saint-Quentin.

Cet appareil se compose d'une caisse de tôle, divisée en deux compartiments par deux cloisons, formant entre elles un angle droit, dont l'une verticale forme déversoir à sa partie supérieure, et l'autre horizontale n'occupe qu'environ les deux tiers de la longueur de la caisse. Cette dernière, placée à une certaine distance du fond, présente un orifice circulaire au-dessus duquel tourne une hélice semblable à celles qui sont usitées pour la navigation. Une grille horizontale est placée dans le compartiment de gauche, en prolongement de la cloison horizontale de droite, et une grille inclinée dans celui de droite, en haut de la cloison verticale.

L'appareil étant rempli d'eau et l'hélice mise en mouvement par l'intermédiaire de deux roues d'angle, il se produit un mouvement circulaire de l'eau, qui remonte dans le compartiment de gauche, passe au-dessus du déversoir et, traversant la grille inclinée, rentre dans le compartiment de droite, où elle est reprise par l'hélice.

Les betteraves et les pierres sortant du lavoir viennent tomber dans le compartiment de gauche; les pierres restent sur la grille et tombent au fond, tandis que les betteraves, en vertu de leur densité relativement faible, sont entraînées par le courant d'eau sur la grille inclinée, et sont rejetées hors de l'appareil par un petit tambour armé de palettes inclinées et mû par deux engrenages droits.

Vous comprenez qu'il est indispensable d'avoir des betteraves très bien lavées, bien épurées, parce que la râpe est un outil très délicat qui a besoin d'être maintenu bien tranchant, et que la terre, comme les pierres, est sujette à l'abîmer. La râpe se compose d'un tambour évidé dont la périphérie pleine est constituée par de petits liteaux de bois et des lames d'acier découpées en forme de scie.

Un peu au-dessous du plan horizontal passant par l'axe du tambour, existe ce qu'on appelle les *pousseurs*. Primitivement des hommes poussaient à la main la betterave, à l'aide d'un sabot de bois; mais plus tard on a remplacé ce travail peu économique par un appareil mécanique. Les pousseurs mécaniques se composent d'une partie en fonte, animée d'un mouvement alternatif d'avant et de recul. Les betteraves viennent tomber entre le sabot et la râpe, puis le pousseur avançant, il pousse les betteraves contre la râpe, qui est animée d'un mouvement de rotation de 900 à 1,000 tours à la minute. Par ce moyen, les betteraves se trouvent déchirées, et l'on obtient une sorte de pâte dite *pressin* qu'il s'agit de comprimer pour en tirer le plus de jus possible.

La râpe que nous venons de décrire est un outil connu de longue date. Il y a à l'Exposition des appareils employés pour un autre mode d'extraction du jus de betterave sans passer par le râpage; ce sont ceux employés pour l'extraction par diffusion, qui a été proposée primitivement par Mathieu de Dombasle et qui n'a encore reçu que trois applications en France, mais qui est montée dans la plupart des sucreries de l'Autriche, de l'Allemagne, de la Russie, et qui, dans quelques années, sera certainement adoptée dans presque toutes les fabriques où l'on aura des eaux de bonne qualité et un écoulement possible de la pulpe.

Qu'est-ce que la diffusion?

La diffusion repose sur deux phénomènes que je suis obligé de vous décrire très sommairement. Prenez un verre d'eau, versez à la partie supérieure, avec beaucoup de précautions, une petite couche de vin. Le vin, plus léger que l'eau, va se maintenir à la partie supérieure. Laissez les choses dans cet état et dans une atmosphère calme, pour que le verre soit, autant que possible, à l'abri de toute vibration et de toute variation de température; quelques heures après, le liquide se sera répandu dans toute la masse; il y aura une proportion égale de vin et de matière colorante dans chacune des couches que vous pourrez considérer. Voilà un premier fait : lorsque nous aurons une dissolution sucrée, en contact d'une couche d'eau, elle tendra à se répandre, à se diffuser partout, pour se répartir uniformément dans toute la masse.

Mais il y a un autre phénomène plus difficile à comprendre et dont on ne connaît pas encore l'explication scientifique.

Prenez une vessie, remplissez-la d'une solution chargée d'un corps cristallisable quelconque, tel que le sucre, par exemple, et fermez-la hermétiquement. Si vous la laissez suspendue dans cette salle, pas une goutte de liquide ne s'en échappera; mais si vous la placez au milieu d'un vase plein d'eau, immédiatement un phénomène se produit : l'eau entre dans l'intérieur de la vessie, et en même temps le sucre sort, bien qu'il n'y ait aucune fissure dans l'appareil; il y a *osmose*.

Cette force d'osmose est tellement puissante que, si nous adaptons à la vessie un tube de verre, le niveau du liquide montera et s'élèvera à plusieurs mètres de haut.

Voilà un phénomène difficile à expliquer, mais cependant incontestable. Lorsque deux liquides de densité ou de composition différente sont placés l'un à l'intérieur, l'autre à l'extérieur d'une enveloppe imperméable à la filtration directe, mais cependant poreuse, comme celle de la vessie dont nous parlons, le liquide extérieur rentre à l'intérieur avec une telle abondance, que l'enveloppe se tuméfie au point de pouvoir éclater. En même temps, un autre courant dit *d'exosmose* se produit, et le liquide avec les matières dissoutes contenues dans la vessie se répandent au dehors.

M. Dubrunfaut, chimiste français d'une grande notoriété dans la science et l'industrie, a basé sur ces faits un procédé d'extraction du sucre des mélasses qui est certainement une des plus ingénieuses applications d'une donnée scientifique qui aient été faites dans ce siècle.

Les phénomènes d'osmose sont tellement violents, tellement rapides, qu'un liquide salin, mis en contact avec de l'eau par l'intermédiaire d'une vessie pendant sept ou huit minutes seulement, se trouve privé d'une grande partie des matières qui s'y trouvaient en dissolution.

Le procédé dit *de diffusion* est l'application de ces deux principes : la diffusion et l'osmose. Dans ce procédé d'extraction du jus de la betterave, les cellules qui constituent la betterave jouent le rôle de la vessie hermétiquement fermée que je viens de prendre pour exemple, car le sucre et les sels y sont renfermés.

Pour extraire le sucre par ce procédé, on divise la betterave en rubans ou *cossettes* à l'aide d'un coupe-racines. Les cossettes ont de 7 à 8 millimètres de largeur, sur 7, 8, 9, 10, 15 et 20 millimètres de longueur et même plus, et 1 ou 2 millimètres d'épaisseur. On place ces petites tranches dans l'intérieur d'un vase cylindrique dit *diffuseur,* terminé par un fond plat ou conique. Deux portes, l'une à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure, servent au chargement et à la vidange.

On se sert d'eau chaude pour pratiquer la diffusion, parce qu'à froid le phénomène est trop long. Sous l'influence de la chaleur, le phénomène d'osmose se produit immédiatement; le sucre et les sels sortent des cellules et se répandent dans l'eau, et la dissolution prise à la sortie du diffuseur est parfaitement homogène, par suite, d'une part, du phénomène de diffusion qui se produit, et, d'autre part, du courant qui existe à l'intérieur de l'appareil.

Pour arriver à un épuisement complet et méthodique, on réunit six, sept, huit, quelquefois dix ou douze de ces vases, et l'on fait passer l'eau successivement du premier au dernier. Lorsqu'on a complété l'épuisement, on retire les cossettes de betteraves, et on les envoie dans des

presses pour en retirer la majeure partie de l'eau qui y est contenue, et obtenir un produit dit *pulpe* qui a une grande valeur dans la culture. La nature des pulpes de ce procédé inquiète beaucoup de cultivateurs qui craignent que la pulpe de diffusion ne soit pas nutritive. Il est certain qu'à poids égal, la pulpe qui contient le moins d'eau a la supériorité; mais on peut arriver à vendre les deux pulpes dans des conditions telles que l'équilibre soit rétabli. Supposons que de 100 kilogrammes de betteraves nous retirions, par un moyen de pression très énergique, tel que par la presse hydraulique, 20 p. o/o de pulpe, et que par le moyen de la diffusion nous en retirions 30 p. o/o : toutes les matières nutritives seront renfermées dans 20 pour un cas, et dans 30 kilogrammes pour l'autre; donc les prix doivent, à ce point de vue, être établis en raison de la proportion des pulpes. Si, par exemple, on paye les premières 12 francs, les secondes valent 8 francs les 1,000 kilogrammes. Les prix étant établis suivant ces rapports, il y a un grand avantage en faveur des pulpes de la diffusion, parce que les pulpes peu pressées et bien désucrées sont beaucoup plus assimilables que les pulpes trop pressées et chargées de sucres qui se transforment en acides dans les silos. Lorsqu'on nourrit les animaux avec la pulpe de diffusion, comme avec la pulpe de presses continues, comparativement avec des pulpes de presse hydraulique, et qu'on en donne pour autant d'argent d'après les bases ci-dessus, il y a une différence de 15 à 18 p. o/o, au point de vue de la nutrition de l'animal, et de ce fait, les pulpes peu pressées ont droit à une plus-value.

A l'Exposition, il n'y a qu'un seul appareil de diffusion, exposé par la maison Lecointe et Villette, pour une société autrichienne.

On rencontre, au contraire, un grand nombre de presses continues; le nombre des brevets est considérable, et l'on peut dire qu'il n'y a pas un fabricant de sucre qui n'ait aujourd'hui sa presse continue; tout le monde cherche à perfectionner les procédés ou appliqués ou expérimentés.

La presse continue est le plus souvent un appareil qui se compose de deux cylindres filtrants placés l'un à côté de l'autre et dont une partie est enfermée dans une cuve de fonte où, à l'aide d'une pompe, on refoule le pressin sous pression. Le jus pénètre dans l'intérieur des cylindres et s'échappe au dehors, en même temps que la pulpe passe entre chaque cylindre, suivant la ligne de tangence, et tombe en avant. Le tout peut marcher ainsi sans autre interruption que l'arrêt nécessaire pour que les ouvriers puissent prendre leur nourriture, ou pour graisser ou entretenir l'appareil; on a donc bien une presse continue. La question des presses continues est une question pleine d'intérêt et d'actualité.

M. Champonnois a fait à Cuincy, près Douai, la première installation complète qui ait fonctionné en France. Vous trouverez des spécimens de sa presse dans l'Exposition.

La presse de M. Champonnois se compose de deux cylindres de bronze placés dans une bâche de fonte et inclinés à 45 degrés sur l'horizon. La surface filtrante est constituée par un fil de laiton à section trapézoïdale, presque triangulaire, enroulé dans des conditions telles, qu'il y a entre chaque spire un espace libre de 1/10 de millimètre; c'est là ce qui constitue la surface filtrante. Le fil a 3 millimètres d'épaisseur; les cylindres ont 600 millimètres de longueur et 400 millimètres de diamètre. La section totale de l'ouverture en spirale, ou partie filtrante, représente 230 centimètres carrés, tandis que la surface totale du cylindre est de 7,500 centimètres carrés. Le coefficient de perméabilité ou rapport de la surface totale à la surface filtrante est donc de 32,6.

A côté de la presse Champonnois, il nous faut citer les presses Collette, qui diffèrent essentiellement des presses Champonnois par la construction et la surface filtrante. Les cylindres filtrants, en bronze, sont recouverts d'une tôle en cuivre perforée. Ces presses présentent une grande surface filtrante, bien plus élevée que dans les presses précédentes, et le coefficient de perméabilité est de 5.

Les presses Piéron sont basées sur un principe différent : c'est l'application de l'hélice. Le pressin arrive dans un espace relativement peu considérable, refoulé par une pompe. Le pressin se trouve fortement pressé par le mouvement de la vis, et le jus s'écoule au dehors au travers de l'enveloppe perméable de l'hélice, tandis que la pulpe sort à l'extrémité en soulevant un obturateur maintenu par un ressort.

On rencontre encore à l'Exposition la presse Manuel et Socin, qui s'annonce comme devant avoir beaucoup d'avenir. Elle fonctionne sans pompe, et la surface filtrante est une toile sans fin faite de poils de chèvre. Elle se compose de cylindres en nombre plus ou moins considérable, placés deux par deux, l'un au-dessus de l'autre; le cylindre supérieur est plein et en fonte; l'autre, inférieur, est perméable. Entre les cylindres passe la toile sans fin, qui entraîne la pulpe et l'amène successivement de l'un à l'autre pour subir une série de pressions. La couche est mince, ce qui contribue à un bon épuisement.

Vous voyez que le procédé est extrêmement simple. Dans cette presse, le pressin est reçu sur une toile composée d'un tissu animal en poil de chèvre, ou en toute autre matière du même genre, peu importe, et le jus subit une filtration pendant son extraction; c'est là un avantage sérieux. MM. Manuel et Socin emploient de préférence le poil de chèvre, parce qu'il est très résistant.

La pulpe reste sur cette toile, dont le réseau est très serré, et l'on obtient un jus très clair; tandis qu'avec la presse à surface métallique, il passe toujours une certaine quantité de débris de cellules, ou pulpe folle, dont l'action est nuisible à la pureté des jus, parce que, sous ce grand état

de division, les matières organiques deviennent solubles par l'action de la chaux et de la chaleur; aussi est-on obligé de compléter le travail des presses continues à surfaces métalliques par l'emploi des tamiseurs ou épulpeurs.

On voit à l'Exposition un certain nombre d'appareils de ce genre.

Citons d'abord le système de MM. de Loynes et Linard, qui consiste en un cylindre horizontal, recouvert d'une toile extrêmement fine, plongé jusqu'au-dessus de son axe dans la cuve contenant le jus à épulper. Le jus traverse la toile et sort par l'axe creux du cylindre.

Citons ensuite celui de MM. Mariolle frères, de Saint-Quentin, qui jouit d'une grande réputation dans les sucreries et dont le fonctionnement est parfait. L'épulpeur de leur système est exposé dans une annexe de l'avenue de la Bourdonnaye.

Enfin, MM. Cail et Mesnard ont imaginé un système qui ressemble beaucoup à celui de MM. de Loynes et Linard. Dans ce système, le cylindre filtrant, rotatif, est placé verticalement.

Le jus extrait de la betterave par tel ou tel système peut être travaillé de suite pour en extraire le sucre, ou bien on peut, après une légère addition de chaux, le transporter au loin dans une usine centrale, où on opérera sur de très grandes quantités de jus à la fois. Ce système, dit *des râperies*, a été imaginé par M. Linard. Le jus, extrait dans les centres de production de la betterave, est aspiré par une pompe puissante et refoulé, à une distance de plusieurs kilomètres, dans des tuyaux de fonte placés sous les accotements des routes. Grâce à cette idée, M. Linard a pu construire des fabriques de sucre où l'on fait par jour 500 sacs, et où l'on pourra faire, dans un temps très rapproché, 1,000 sacs de sucre par jour, c'est-à-dire 100,000 kilogrammes. L'usine centrale d'Escaudœuvres, près Cambrai, a dix-sept râperies, et elle en possédera bientôt vingt; toutes ces râperies envoient à l'usine centrale leur jus préalablement chaulé à 5 p. o/o de lait de chaux à 20° Baumé, pour éviter les altérations pendant le trajet. Le jus de toutes les râperies se réunit à l'usine centrale dans un immense réservoir où l'on puise au fur et à mesure des besoins. Des télégraphes relient les râperies à l'usine, et l'on peut communiquer ainsi instantanément avec les dix-sept râperies pour donner l'ordre de commencer ou d'arrêter le râpage, suivant les besoins.

M. Linard a ainsi augmenté la production du sucre dans une notable proportion.

Mais quels que soient les moyens d'extraction du jus, il faut l'épurer, et pour cela nous avons deux moyens à notre disposition.

L'un consisterait à précipiter toutes les matières impures contenues dans le jus, et à ne conserver que la solution sucrée, privée par filtration du dépôt insalubre renfermant les impuretés.

On n'a pas encore trouvé jusqu'à ce jour un procédé suffisamment efficace pour pouvoir précipiter ainsi sous forme de composés insolubles toutes les matières impures que renferme le jus de betteraves.

L'autre moyen consisterait à précipiter le sucre sous forme de composés insolubles et à le séparer par filtration. Cette dernière méthode, probablement celle de l'avenir, n'est pas encore appliquée; on se sert donc du premier moyen, si imparfait qu'il soit, et c'est le seul que nous examinerons ici

Au début de la fabrication du sucre et encore dans certaines usines, le jus arrive dans une chaudière dite *chaudière à déféquer;* on le porte à une température de 80 degrés, on y ajoute une certaine quantité de lait de chaux et l'on continue à chauffer tout doucement. Sous l'influence de cette chaleur très progressive, une écume abondante se forme à la partie supérieure de la chaudière, un liquide clair occupe la partie inférieure; par décantation, on obtient une solution transparente qui, par l'évaporation, laisse une masse jaunâtre composée de sucre et de matières impures qui n'ont pu être éliminées par ce système de défécation. Ce procédé est encore très employé aux colonies.

Plus tard on a perfectionné le procédé. M. Rousseau, fabricant de produits chimiques à Paris, rue des Écoles, a eu l'idée d'envoyer dans l'intérieur du jus sucré un courant de gaz acide carbonique, pour saturer la chaux en excès, en formant avec elle du carbonate de chaux. Par ce procédé, dit *de saturation,* on élimine, en même temps que la chaux en excès, une certaine quantité des impuretés qui échappent à la défécation. M. Rousseau produisait son acide carbonique dans un petit four en brûlant du coke, sous l'influence d'un courant d'air refoulé avec pression sous le cendrier.

Plus tard encore on fit des fours donnant simultanément de la chaux et du gaz carbonique; vous voyez ici le dessin d'un de ces fours recommandés par la maison Cail et C[ie] de Paris. Les fours à chaux sont de deux sortes : les uns sont à foyers extérieurs, les autres n'ont pas de foyer et ressemblent à un haut fourneau. On y mélange ensemble la pierre à chaux et le combustible, le coke.

Ces fours communiquent avec une pompe aspirante qui enlève l'acide carbonique formé par la combustion du coke et, d'autre part, l'acide carbonique qui provient de la décomposition de la pierre à chaux.

La chaux formée reste dans le four; on la tire à la partie inférieure, au fur et à mesure des besoins. Pendant l'opération de la saturation, on refoule l'acide carbonique puisé dans le four, dans le jus chargé de chaux, et l'on reconstitue le carbonate de chaux qui entraîne une partie des impuretés en se formant. Ce carbonate de chaux, n'ayant pas grande valeur, est vendu comme engrais, ou reconstitué en chaux dans les pays où l'on manque de calcaire.

Après les procédés de défécation et de saturation vint le procédé de *double carbonatation*, introduit dans l'industrie française par MM. Perrier et Possoz. C'est grâce à ce procédé que l'envoi des jus chaulés par ce système a pu se développer; car, contrairement au procédé de défécation, il faut, pour l'appliquer, que le jus soit préalablement chaulé.

Le jus, aussitôt extrait de la betterave, est additionné de 10 à 12 p. o/o de lait de chaux, soit de toute la quantité qu'on veut y mettre.

Dans ces conditions, le jus peut se conserver pendant plusieurs mois. Il est ensuite soumis directement à un courant de gaz acide carbonique; on arrête la première opération à l'apparition du dépôt se formant rapidement et alors que l'alcalinité est encore de 2 grammes de chaux par litre; on décante le jus pour le séparer du dépôt, puis on l'additionne d'une nouvelle quantité de chaux, et l'on recommence la carbonatation; le jus, en sortant de la deuxième carbonatation, est très limpide et neutre, ou, si on le laisse alcalin, il doit contenir au maximum cinq dix millièmes de chaux, et il n'y a plus qu'à compléter son épuration par la filtration au noir animal, pour qu'il soit arrivé à son maximum d'épuration dans les conditions actuelles de l'industrie.

Le jus ainsi épuré doit être concentré.

Au début, on concentrait à air libre le jus dans une bassine chauffée à feu nu, puis à la vapeur; on a renoncé à ces deux procédés presque partout, surtout au premier, et aujourd'hui, dans les nouvelles installations, on se sert d'appareils à plusieurs effets pour évaporer dans le vide. Le premier de ces appareils fut fait par Rillieux.

En voici le principe : Si vous faites chauffer de l'eau à la pression ordinaire, ici par exemple, dans cette salle, l'ébullition va se produire à un certain moment, et à la température de 100 degrés si le baromètre indique 760 millimètres de pression. La température d'ébullition sera d'autant moins élevée qu'il y aura moins de pression, si bien que sous 200 millimètres de pression, par exemple, l'ébullition se produit à 67 degrés centigrades. Le principe de ces appareils repose sur un abaissement de température dans le point d'ébullition, par le fait d'une diminution de pression.

En France, on se sert généralement d'un type de ces appareils composé de trois caisses, et on l'appelle *triple effet*. Dans chacune des caisses on a des vides différents, si bien que les vapeurs d'évaporation sortant de la caisse où il y a le moins de vide servent de vapeurs pour chauffer et évaporer le jus contenu dans la caisse suivante, où il existe un vide plus important.

Les trois caisses de l'appareil à triple effet sont placées l'une à côté de l'autre; chacune se compose de deux parties : l'une tubulaire, placée à la partie inférieure, l'autre constituant une simple chaudière qui reçoit le

jus. On maintient le jus à une certaine hauteur, tous les tubes sont pleins, et la vapeur circule autour des tubes.

Dans la première caisse arrivent les vapeurs d'échappement sortant des machines à haute pression. Dans la seconde caisse arrivent les vapeurs provenant de l'évaporation des jus de la première caisse, et dans la troisième les vapeurs provenant des jus de la deuxième.

Une pompe puissante, analogue aux pompes d'épuisement, fait le vide dans l'intérieur de l'appareil, en commençant par la troisième caisse; le vide va donc en diminuant de la troisième à la première. L'ébullition se produit à 92 degrés dans la première caisse, à 84 dans la seconde et à 54 dans la troisième.

Il y a à l'Exposition plusieurs appareils de ce genre.

Dans l'exposition de Fives-Lille, on rencontre une disposition spéciale, dans le but de répartir uniformément la vapeur. La vapeur arrive sur toute la hauteur; le faisceau tubulaire est renfermé dans une double chemise percée de trous vers les tubes, c'est-à-dire vers l'intérieur de la caisse, et ces trous sont d'autant plus grands qu'ils sont plus éloignés du point d'arrivée de la vapeur.

Ce fluide circule ensuite de la périphérie au centre, où sont placées la sortie des eaux de condensation et la sortie des vapeurs incondensables ou non condensées.

La vapeur, au contact de chaque tube, cède sa chaleur latente et se résout en eau. Cette chaleur latente est utilisée à évaporer l'eau du jus.

Cette répartition de la chaleur est la même dans tous les triples effets, et les seules parties qui différencient les divers systèmes les uns des autres sont le mode de circulation de la vapeur et le système adopté pour la marche des jus.

Il existe dans l'exposition hollandaise des appareils à triple effet entièrement simplifiés au point de vue de la tuyauterie. Il n'y a qu'un seul tuyau qui sert à la conduite d'une caisse à l'autre, tandis que dans le triple effet de Fives-Lille il y a autant de conduits que de caisses.

La question est de savoir de quel côté est l'économie. Avec la simplification des tuyaux comme elle a lieu dans le triple effet de la section hollandaise, on est obligé de démonter tout l'appareil chaque fois qu'on veut le nettoyer, tandis qu'avec le triple effet de Fives-Lille il est possible d'isoler les caisses.

Dans le triple effet de Cail et Halot, il y a une disposition spéciale. Après la deuxième caisse, sur la conduite de vapeur qui va à la troisième caisse, il existe une tubulure spéciale qui va directement à la pompe à air. Cette disposition a pour but, lorsqu'il n'y a pas assez de vide dans la troisième caisse, que l'évaporation par conséquent est ralentie, de permettre d'envoyer une certaine quantité de la vapeur produite dans la seconde

caisse directement au condenseur, de façon que, la production de vapeur devenant moins grande dans la troisième caisse, le vide puisse monter et l'évaporation recommencer activement.

On rencontre après cela, comme particularité, un ralentisseur adapté également aux appareils de cuite. Il se place à la partie supérieure des appareils, sur la conduite qui met en communication la troisième caisse avec l'appareil de condensation. Si l'on considère en effet la somme de vapeur produite dans chacune des caisses, et notamment dans la troisième pour le cas actuel, on remarque que la vitesse de la vapeur doit être excessive par suite du petit diamètre des conduits, et l'on comprend qu'une certaine quantité de liquide puisse être entraînée; or il est sucré, c'est même du sirop et il a de la valeur. Pour le recueillir, on a intercalé sur une partie du tuyau un ralentisseur du système Hodeck, qui se compose d'un tambour horizontal en tôle d'un fort diamètre, dans laquelle existent deux cloisons verticales percées de trous. La vapeur, en arrivant dans cet appareil, trouve tout de suite une section beaucoup plus grande; elle se détend un peu, se condense pour une petite partie, sa vitesse se ralentit, des gouttelettes de sirop se forment et se déposent à la partie inférieure de l'appareil; on les recueille.

Enfin il y a une autre particularité qu'il est bon de signaler, c'est que depuis quelque temps on tend de plus en plus à recueillir l'eau provenant de la vapeur qui se condense dans chacune des caisses. Au début, il y a eu à cet égard un préjugé énorme. C'est de l'eau distillée la plus pure qu'on puisse rencontrer dans une fabrique de sucre; les sources naturelles ne donnent pas d'eau ayant une pureté égale à celle qui se condense dans ces caisses; eh bien! à l'origine, on la laissait perdre! Vous savez qu'il y a un grand intérêt dans l'industrie à avoir de l'eau distillée pour alimenter les générateurs, et que, plus spécialement pour tous les besoins de la fabrication du sucre, il est nécessaire d'avoir de l'eau pure. Aussi est-on arrivé à recueillir de plus en plus l'eau contenue dans la seconde et dans la troisième caisse. Il y a cependant encore des restrictions; on pense par exemple que l'eau de la seconde caisse est plus ammoniacale que l'eau de la troisième! Cela est vrai dans certains cas, mais on peut néanmoins l'employer à l'aide de certaines précautions, et l'on arrive aujourd'hui à recueillir non seulement l'eau de la troisième et de la deuxième caisse, mais l'eau qui se trouve dans l'appareil condenseur-réchauffeur, et l'on peut disposer une pompe unique pour puiser dans les trois parties que je viens d'indiquer. Il est inutile de mettre autant de pompes qu'il y a de caisses; à l'aide d'un simple agencement de tuyauterie, on peut arriver à extraire avec une seule pompe l'eau des deux dernières caisses et du condenseur-réchauffeur.

Voici la disposition de tuyauterie à adopter : Supposez qu'un tuyau arrive de la seconde caisse, qu'un autre arrive de la troisième et un autre

du condenseur-réchauffeur; on réunit ensemble la seconde et la troisième caisse et l'on fait descendre le plus bas possible le tuyau réunissant les deux retours; il faut au moins 1ᵐ,50 en contre-bas des caisses. Ce tuyau arrive dans un appareil en tôle présentant un diamètre de 40 à 50 centimètres, dont la partie supérieure est en communication avec le vide qui existe dans la pompe à air, à l'aide d'un tuyau qui remonte jusqu'au niveau du plancher des appareils. L'eau formée dans le condenseur-réchauffeur arrive sur le tuyau commun du retour des deux caisses en un point quelconque le plus bas possible et près de l'appareil en tôle dont je viens de parler. Toutes les eaux de la deuxième et de la troisième caisse ainsi que du condenseur, par suite de la différence de niveau, viennent d'elles-mêmes dans cet appareil, et comme ces eaux sont à des températures différentes, il se produit immédiatement un phénomène qu'il convient de remarquer : l'eau de la deuxième et celle de la troisième caisse donnent lieu à un dégagement de vapeur par suite du vide très grand qui règne dans cet appareil, les vapeurs ammoniacales tendent à se former en premier lieu, et comme l'appareil en tôle est en communication permanente avec la pompe à air, elles s'échappent et il reste de l'eau distillée aussi pure qu'on peut la désirer industriellement.

Dans l'appareil d'évaporation dit triple effet, on amène le jus de betterave à peser 22 à 25 degrés; c'est du sirop. On termine les opérations de l'extraction du sucre en filtrant le sirop sur le noir animal et on achève l'élimination de l'eau en excès dans un autre appareil dit *appareil à cuire.*

La cuite, qui se pratiquait au début à feu nu, puis à la vapeur et à air libre, se fait aujourd'hui généralement à la vapeur et dans le vide, dans un appareil dit *cuite en grain,* qui se compose d'un vase en tôle à fond en fonte, garni intérieurement d'une grande quantité de serpentins. Le sirop est introduit dans l'intérieur de la cuite; par la concentration, on l'amène au point de cuite, c'est-à-dire au point où, en en prenant une goutte entre l'index et le pouce il se forme un filet fin comme un fil en écartant les doigts. Dans cet état, le sirop est parfaitement transparent et limpide. Si vous venez à introduire brusquement dans ce sirop une certaine quantité d'autre sirop sortant du triple effet et filtré (trois ou quatre litres), une grande quantité de petits cristaux apparaissent dans toute la masse, des cristaux minuscules il est vrai, mais qui n'en existent pas moins. Et en faisant arriver successivement et lentement de nouvelles quantités de sirop, ces cristaux grossissent peu à peu et finissent par prendre la forme de ces petits grains que vous voyez. (L'orateur montre un spécimen de sucre en granules déposé sur le bureau.) Ce sucre est très beau; il provient de la sucrerie de MM. Druelle, Payart, Coquebert et Cⁱᵉ. Il n'y a que trois ou quatre fabriques en France qui fassent directement du sucre aussi beau actuellement.

Pendant l'opération de la cuite, on obtient des grains plus ou moins gros suivant l'habileté de l'opérateur et la qualité du sirop.

La cristallisation terminée, il n'y a plus qu'à séparer le sirop de la mélasse qui l'enveloppe; pour cela, on se sert d'appareils centrifuges dits *turbines;* ces appareils ressemblent aux essoreuses centrifuges et sont basées sur le même principe.

La turbine ordinaire se compose d'un tambour fixé à un arbre qui fait douze cents tours à la minute. La partie verticale du tambour est perméable et composée d'une toile métallique à mailles serrées pour laisser un libre passage à la mélasse et retenir les cristaux de sucre. La compagnie Fives-Lille expose un appareil centrifuge ordinaire à mouvement en dessus, par cônes de friction. En même temps on remarque l'appareil Kœrting, appliqué au clairçage des sucres dans cette turbine même. La turbine Weston, construite par M. Cail, est faite surtout en vue des colonies; elle a pour but d'économiser la main-d'œuvre, qui, étant très rare dans ces pays, doit être remplacée de plus en plus par l'emploi des appareils mécaniques; mais en France, où elle est plus abondante et plus habile, on préfère encore se servir de la turbine ordinaire.

Le sucre ainsi obtenu en cristaux comme de petits candis est refondu ou expédié à l'étranger. Partout en Europe et en Amérique, il est employé directement, mais en France le consommateur le repousse; on veut du sucre raffiné, plus épuré, d'un aspect plus agréable et se présentant sous la forme de morceaux.

RENDEMENT EN SUCRE DE LA BETTERAVE.

Dans l'état actuel de l'industrie du sucre, avec tous ces appareils perfectionnés, combien retire-t-on de sucre de la betterave? Vous serez assez surpris de voir combien la quantité en est petite et combien, par suite, il reste de progrès à accomplir encore dans cette industrie.

Sur 100 kilogrammes de sucre contenus dans les betteraves on en retire 55 à 60 kilogrammes à l'état cristallisé.

Les pertes se produisent ainsi:

Dans la pulpe, de 15 à 20 p. o/o;

En cours de fabrication et immobilisé sous forme de mélasses, de 20 à 25 p. o/o.

Ainsi donc, dans les conditions actuelles de la fabrication, lorsqu'il entre 100 kilogrammes de sucre sous forme de betteraves dans une usine, il n'en sort à l'état cristallisé que 55 à 60 p. o/o; ce qui correspond par 100 kilogrammes de betteraves, — suivant la richesse de la plante, qui varie de 7 à 13 p. o/o, — de 4 à 7,2 p. o/o de sucre extrait.

Cette industrie est donc tout à fait dans l'enfance de l'art, et elle a be-

soin de l'appui et des efforts de tous les hommes qui s'occupent de science et d'économie sociale pour arriver à se développer. Il n'y a peut-être pas en France une industrie aussi arriérée, car dans la plupart des autres on extrait de 80 à 97 p. 0/0 des éléments utiles contenus dans la matière première.

Il faudrait, pour arriver à un pareil résultat, épuiser complètement la pulpe : c'est là une des premières causes de perte; puis découvrir des procédés de fabrication qui permissent de précipiter sous forme insoluble la totalité du sucre contenu dans le jus.

IMPÔT SUR LE SUCRE, SES CONSÉQUENCES.

Pour terminer, je dois vous expliquer l'influence de l'impôt sur la production et la consommation du sucre.

En France, de 1812 à 1816, on ne consommait par an et par habitant que 500 grammes de sucre et l'on n'en produisait qu'une quantité extrêmement minime. En 1830, la production s'élevait à 7,000 tonnes, et la consommation par habitant était de 1 kilogr. 600.

En 1837, on comptait 585 fabriques, c'est-à-dire beaucoup plus qu'aujourd'hui, et la consommation s'élevait à 3 kilogr. 300 par habitant.

C'est à la fin de 1837 que l'impôt sur le sucre fut établi pour la première fois; cet impôt fut une cause de ruine pour beaucoup d'industriels : 185 fabriques tombèrent et l'industrie du sucre reçut un coup dont elle eut beaucoup de peine à se relever. En 1840, on ne comptait plus que 389 fabriques; les fabriques les plus favorisées qui avaient la main-d'œuvre et le charbon à bas prix, celles du Nord et du Pas-de-Calais, avaient pu seules résister. La production, qui était de 49,000 tonnes en 1837, tomba en 1840 à 26,900. Vous voyez quelle épreuve terrible l'industrie du sucre eut à supporter.

En 1860, les conditions économiques ayant changé, la production reprend; on arrive à 67,000 tonnes, mais la consommation n'est encore que de 3 kilogrammes de sucre. En 1870, la production s'élève à 282,109 tonnes et la consommation atteint 7 kilog. 500.

A partir de cette époque, la production, sous l'impulsion d'une ère de prospérité, sous l'impulsion de besoins pressants créés par la guerre avec la Prusse et aussi sous l'influence de la création de râperies nombreuses montées par M. Linard, la production se développe rapidement et atteint 450,000 tonnes en 1875. Mais, à la suite de l'augmentation des impôts de toute nature et principalement de ceux sur le sucre, pour couvrir les frais de la guerre et payer la rançon, la consommation diminue; on ne consomme plus que 7 kilog. 300 en 1875, et depuis elle a été constamment en diminuant. En 1876, elle fut de 7 kilog. 200; en 1877, de

6 kilog. 200, et la production se ralentit au point de tomber à 238,000 tonnes seulement en 1877.

Pendant cette même période, un mouvement inverse se produit chez nos voisins. L'industrie du sucre va progressant et la consommation se développe considérablement. Il est difficile de connaître exactement la consommation réelle dans les pays producteurs, et surtout en Autriche-Hongrie et en Allemagne, parce que l'on ne connaît pas exactement la quantité de sucre produite. Mais en Angleterre, le contrôle est facile, puisque ce pays ne produit pas de sucre et que les quantités entrant dans le pays y arrivent par bateaux et qu'elles sont rigoureusement constatées. Je prendrai donc ce pays pour exemple.

La consommation dans ce pays fut, en 1877, de 31 kilog. 400 par habitant, contre 23 kilogrammes en 1870. Cette grande différence de consommation provient de ce qu'en France nous payons un impôt exagéré, tandis qu'en Angleterre l'impôt sur le sucre n'existe plus.

L'action de l'impôt sur la consommation est très marquée, et l'Angleterre vient nous donner à ce sujet un exemple frappant :

En 1869, l'impôt en Angleterre était de 50 francs : la consommation était de 21 kilogrammes.

En 1870, l'impôt est abaissé à 15 francs : la consommation s'élève à 23 kilogrammes.

En 1873, l'impôt est abaissé à 7 fr. 50 cent. : la consommation atteint 26 kilog. 200.

En 1874, l'impôt est entièrement supprimé, et la consommation s'élève à 28 kilog. 300 et va en augmentant d'année en année. Si élevé que paraisse ce chiffre, il peut encore s'élever de beaucoup; nous en avons la preuve en Australie, où la consommation atteint 55 kilogrammes par habitant.

Boit-on ou mange-t-on plus sucré en Angleterre qu'en France? On peut répondre non. Mais la grande consommation est due à deux causes : d'abord, le sucre étant à bon marché, il devient un objet de première nécessité et peut être employé par toutes les classes de la société. Les pauvres comme les riches peuvent se servir de ce produit, qui est si nécessaire à la santé et si agréable à la dégustation.

Ensuite, en Angleterre, la consommation apparaît sous son vrai chiffre; le pays n'étant pas producteur, on connaît exactement les quantités produites, tandis que dans les autres pays le chiffre de la consommation est faussé.

L'Autriche-Hongrie, il y a deux ans, avait exporté plus de sucre qu'elle n'en avait produit, d'après les tableaux du Gouvernement; dès lors, la consommation devenait une valeur négative, et chaque habitant, d'après la statistique, avait dû rendre une certaine quantité de sucre pour équi-

librer les chiffres de production et de sortie. On voit de suite combien le mode de contrôle employé peut fausser le chiffre de la consommation.

Le même phénomène pourra se produire en France, car le mode de constatation des quantités consommées, les seules passibles de l'impôt, est sujet à de grosses erreurs. Les quantités mises en consommation sont représentées par les quantités acquittées, soumissionnées et non acquittées, déduction faite des quantités exportées après le raffinage.

Si l'on opérait sur tous produits de même nature, cette manière de calculer serait exacte, mais l'erreur est facile et très importante, parce qu'on est obligé d'évaluer par des calculs établis sur des bases entièrement fausses la quantité de sucre, à un type pris pour base, contenu dans un sucre d'une autre catégorie. Ainsi du sucre dit *sept à neuf,* qui a en moyenne la composition suivante :

Sucre	94.100
Glucose	0.020
Cendres	1.944
Eau et divers	3.936
	100.000

est considéré comme devant rendre 80 kilogrammes de sucre raffiné, tandis qu'on peut en extraire beaucoup plus, et presque la totalité des 94 kilog. 100 préexistants, en employant l'osmose ou l'élution pour le traitement des mélasses. Si le sucre réellement extrait est de 90, il y a donc 10 kilogrammes de sucre qui entrent dans la consommation au détriment du Trésor et faussent le chiffre de la consommation.

Le chiffre de consommation des statistiques françaises est donc faux, et tout nous porte à croire que l'on consomme beaucoup plus de sucre en France que ne l'indiquent les chiffres ci-dessus, et il est bien certain que la consommation serait encore bien plus forte si, les droits étant moins élevés, le sucre était livré au commerce à plus bas prix, parce qu'il deviendrait d'un emploi régulier et indispensable dans les classes peu aisées de la société.

Pour vous faire voir la part énorme que représente la valeur de l'impôt dans le prix du sucre, permettez-moi de décomposer le prix d'un kilogramme de sucre et de vous montrer la part afférente à chacun des éléments qui interviennent pour constituer le prix total d'un kilogramme de sucre.

Le kilogramme vaut aujourd'hui, dans le commerce, 1 fr. 50 cent., cassé en morceaux réguliers et pris en raffinerie, en gros. Sur ce prix :

L'État prend pour les impôts de toute nature		0f 76c
La culture a livré en betteraves pour		0 38
L'industrie prend pour	extraction du sucre de la betterave	0 20
	raffinage du sucre	0 14
Enfin le commerce, pour les ventes et rachats, prélève		0 02
		1 50

Vous voyez quelle part énorme revient à l'État, et si la consommation va en diminuant, cela tient évidemment à l'énormité de l'impôt, qui est de plus de 100 p. 0/0 de la valeur de la marchandise.

Pour vous montrer les conséquences de cet impôt exagéré, nous allons comparer sommairement tous les pays d'Europe ensemble :

En 1870, la France produisait 32,28 p. 0/0 du sucre total qui se fabriquait en Europe, tandis que l'Allemagne n'en produisait que 25,72 et l'Autriche 20,20 p. 0/0.

En 1875, la France produisait encore 34,30 p. 0/0, l'Allemagne 25,72 et l'Autriche 13,64.

Mais, dès 1876, la France ne produit plus que 22, l'Allemagne 26 et l'Autriche 23 p. 0/0 du sucre total produit en Europe.

En 1877, la betterave ayant été d'une qualité supérieure en France, le produit se relève à 28 p. 0/0, l'Allemagne reste à 26 p. 0/0, l'Autriche continue à s'élever, elle atteint 24 p. 0/0.

Vous voyez donc que l'industrie se déplace; la production de la France va en diminuant constamment, tandis que celle de l'Autriche va en augmentant; et cela tient, quand on va au fond des choses, uniquement au système de l'impôt.

Il faut donc que tout le monde en France réagisse contre cette exagération de la fiscalité, et qu'on arrive à une diminution du prix du sucre. Si l'État pouvait consentir à abaisser le droit de 73 fr. 32 cent. au chiffre de 45 francs ou de 40 francs, sous l'influence de cette diminution, vous verriez la consommation reprendre son essor. L'État éprouverait une diminution sur une des sources de ses revenus, mais la diminution ne serait que momentanée, et il ne faudrait peut-être pas quatre ans pour que, la consommation, s'élevant dans des proportions considérables, l'État ne retrouvât la totalité de sa recette actuelle et au delà; et ce qui le prouve, c'est qu'en 1860, l'impôt ayant été abaissé de 40 fr. 50 à 25 francs, la consommation qui, dans les cinq années antérieures, n'avait atteint que le chiffre de 193,000 tonnes, s'éleva tout d'un coup à 242,000; et cela rien que par suite d'une diminution de 18 fr. 50 cent. aux 100 kilogrammes.

Vous voyez que, si l'État pouvait diminuer l'impôt sur le sucre, immédiatement l'industrie sucrière se développerait et il en résulterait une source de bien-être pour la population. En effet, ce n'est pas seulement l'intérêt du fabricant, mais celui de tout le monde, qui est engagé dans la question. Voyez ce qui se passe dans les départements où l'industrie sucrière s'est implantée.

Dans l'arrondissement de Valenciennes, un des grands centres de cette industrie, en 1857, les terres cultivées en betteraves s'élevaient à 7,000 hectares, les terres cultivées en céréales à 14,900 hectares.

En 1867, on trouve 9,035 hectares de terres en betteraves et 16,000 en céréales.

Enfin, en 1877, on a 13,000 hectares en betteraves et 26,302 en céréales.

C'est-à-dire qu'à partir du moment où l'on se met à faire la culture de betterave, la fertilité des terres va en augmentant, la production des céréales se fait dans des proportions bien plus considérables et s'étend à 65 p. o/o du sol cultivable. Elle procure ainsi le bien-être et la fortune à l'agriculteur et aux ouvriers des campagnes.

Il y a donc nécessité, au point de vue général, de pousser l'industrie du sucre à un degré de développement aussi considérable que possible, pour que les industries et les produits agricoles qui en dérivent puissent, eux aussi, se développer, prospérer, et pour éviter la catastrophe qui menace les fabricants de sucre et les agriculteurs, car les pays étrangers à la France progressent dans une grande proportion et nous font une concurrence qui doit nous inquiéter.

La séance est levée à 4 heures.

PALAIS DU TROCADERO. — 13 JUILLET 1878.

CONFÉRENCE

SUR

LES CONDITIONS TECHNIQUES ET ÉCONOMIQUES

D'UNE ORGANISATION RATIONNELLE

DES CHEMINS DE FER,

PAR M. L.-L. VAUTHIER,

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES, MEMBRE DU CONSEIL MUNICIPAL DE LA VILLE DE PARIS.

BUREAU DE LA CONFÉRENCE.

Président :

M. Hervé Mangon, membre de l'Institut.

Assesseurs :

MM. Allain-Targé, membre de la Chambre des députés.
Laisant, membre de la Chambre des députés.

M. Hervé Mangon, *président*, déclare la séance ouverte et prend la parole en ces termes :

Messieurs,

La conférence que vous allez entendre sera consacrée à l'étude des conditions techniques et économiques d'une organisation rationnelle des chemins de fer. L'auteur se propose d'examiner les moyens à employer pour retirer des chemins de fer, dans l'avenir, des avantages plus grands encore que ceux que le pays en obtient en ce moment.

Notre excellent ami M. Vauthier est à la fois un ingénieur savant, un praticien expérimenté et un administrateur éclairé, car depuis huit ans il prend une part active, comme conseiller municipal, aux grandes affaires de la ville de Paris. Mais M. Vauthier est plus que tout cela : longtemps renfermé en lui-même il a beaucoup réfléchi ; M. Vauthier est un penseur, un philosophe dans la meilleure et la plus haute acception du mot. Cette variété d'aptitudes si rarement réunies donnera à sa conférence un caractère tout particulier d'élévation et d'originalité.

Pour ceux d'entre vous qui ne le connaissent pas personnellement, je

dois encore ajouter que M. Vauthier est l'incarnation du désintéressement : il s'est toujours oublié lui-même pour se dévouer à la défense de la justice et du progrès. Il a traversé la tête haute des temps terribles et de longues périodes d'adversité. Lorsque plus tard le parti qu'il a toujours servi a fini par triompher, il n'a demandé à ses amis qu'une fonction toute de dévouement et le droit de poursuivre sans relâche les travaux qu'il croyait utiles à son pays. De tels dévouements, de telles convictions se rencontrent rarement, et les opinions en matière de travaux publics d'un homme comme M. Vauthier ont droit à la respectueuse attention de tous ceux qui l'écoutent.

Notre temps, Messieurs, a vu naître les chemins de fer, mais on s'habitue si facilement au bien que c'est à peine si l'on remarque aujourd'hui leurs bienfaits, si l'on pense aux merveilles qu'ils produisent et aux transformations profondes réalisées par leur influence dans notre état social.

Je ne dirai rien des grands transports de marchandises qui permettent de réduire les prix pour le consommateur et d'accroître cependant la rémunération du producteur. Je ne parlerai pas des transports de céréales, qui égalisent les prix dans toutes nos régions et nous évitent périodiquement les souffrances des disettes ou des famines. Je dirai seulement un mot du transport des personnes par les chemins de fer.

Il y a moins de quarante ans, tout le mouvement des voyageurs arrivant à Paris ou en partant était concentré dans deux cours qui existent encore : la cour des diligences Laffitte, rue Saint-Honoré, et celle des messageries royales, rue Montmartre. Aujourd'hui, les six ou sept immenses gares de Paris ne suffisent plus au trafic des voyageurs innombrables qui s'y rencontrent. On comprend l'influence sur toutes choses de pareils changements dans les habitudes d'un pays. Pour ne parler que de l'événement de cette année, n'est-ce pas aux chemins de fer et à eux seuls que nous devons ces grandes expositions internationales dont la France donne en ce moment le magnifique exemple ?

Les facilités offertes par les chemins de fer au transport des personnes sont déjà grandes, mais il faut les élargir encore beaucoup, comme va le dire M. Vauthier, car les transports fréquents des populations exerceront sur les mœurs et les opinions de la France la plus heureuse influence. L'habitant de la ville pourra aller se retremper au foyer de sa famille éloignée. Le cultivateur, à son tour, viendra se distraire et chercher la lumière à la ville. On ne pourra plus exciter contre Paris la jalousie de nos campagnes, car les fêtes de Paris seront véritablement les fêtes de la France entière, réunie dans l'enceinte de la grande cité.

Il y aura demain quatre-vingt-huit ans que nos pères célébraient au Champ de Mars la première fête vraiment nationale de la France : la fête de la Fédération.

Grâce aux chemins de fer, notre siècle pourra donner à ces solennités toute leur majesté, en réunissant dans un même lieu et dans une même pensée patriotique les délégués du pays tout entier.

N'est-ce pas encore aux chemins de fer que nous devons ce magnifique palais du Trocadéro où le monde entier semble s'être donné rendez-vous? N'est-ce pas en effet pour recevoir plus tard les hôtes arrivant de tous les points du territoire que la ville de Paris a voulu créer cet édifice superbe, consacré à la glorification de la science, des lettres, des arts, du génie de notre pays?

La France, grâce aux progrès des temps, possède maintenant, sur ce coteau où devait s'élever le palais du roi de Rome, le palais des grandes fêtes de la République. Dans l'avenir, je ne crains pas de l'affirmer, la reconnaissance publique confondra dans un même souvenir le Conseil élu de la ville de Paris, qui a décrété la construction de ce palais grandiose, et le nom de M. Krantz, l'organisateur, le grand architecte du palais des fêtes de la démocratie française.

Je voudrais pouvoir développer ces pensées, mais je ne dois pas retarder l'heure de la conférence, et je donne la parole à M. Vauthier. (Applaudissements.)

M. Vauthier. Messieurs, je commencerai par remercier M. le président des paroles sympathiques, mais beaucoup trop flatteuses, qu'il a bien voulu m'adresser, et, sans autre préambule, j'aborderai le sujet difficile et compliqué que j'ai l'intention de développer devant vous.

Jusqu'à ce jour, les chemins de fer à voie réglementaire, destinés à la grande circulation, — les seuls dont j'aie l'intention de parler, — ont été construits et exploités sans qu'on ait eu l'idée d'opérer entre eux de classement quelconque. On les a construits, on les a mis l'un au bout de l'autre, sans établir entre eux de différenciation d'aucune sorte; — car je laisse ici de côté cette distinction entre les chemins de fer d'intérêt local et d'intérêt général, qui ne correspond guère qu'à des considérations administratives, et ne constitue pas un classement proprement dit.

On a considéré, jusqu'à ce jour, le chemin de fer comme une sorte de machine de type uniforme, une sorte de selle à tous chevaux, qui devait être partout la même, quelle que fût la diversité des circonstances dans lesquelles elle était appelée à fonctionner.

Eh bien! ce que je veux établir, c'est que les choses ne doivent pas continuer à marcher ainsi. — Je veux démontrer que, pour un bon aménagement des voies ferrées, pour que ces voies fonctionnent dans les meilleures conditions, surtout aux moindres frais possibles, il faut opérer entre

elles un classement rationnel, et introduire dans le système de ces nouvelles voies de transport une organisation qui a fait défaut jusqu'à ce jour.

Quel sera le caractère de cette organisation? C'estce que j'aurai à dire.

Quelles seront les bases sur lesquelles cette organisation doit reposer? C'est ce que j'aurai à chercher.

Les idées que je me propose de développer à ce sujet devant vous, Messieurs, comportent une première thèse, — celle-là générale et applicable, suivant moi, à d'autres pays que la France : — c'est qu'en dehors des chemins industriels proprement dits, en dehors de ces chemins spéciaux, sur routes et autres, auxquels on songe pour desservir des besoins tout à fait secondaires, la grande circulation par voies ferrées exige au moins la constitution de deux ordres de réseaux distincts, disposés entre eux comme l'indique, à titre de spécimen, la grande carte que vous avez sous les yeux. (L'orateur désigne ici une carte de France, à grande échelle, appendue derrière le bureau [1].)

L'un de ces réseaux, composé des lignes à grand trafic desservant les principales directions du territoire, serait ce que j'appelle le *réseau national*, que je définirai plus nettement tout à l'heure. Les autres réseaux, compris dans les mailles de ce grand réseau national, seraient formés des lignes secondaires desservant les trafics et directions de moindre importance, et constitueraient ce que j'appelle les *réseaux régionaux*, réseaux ayant des aptitudes moins amples que celles des lignes du réseau national, mais mieux adaptés, d'autre part, à la fonction secondaire qu'ils doivent remplir.

Après cette thèse principale que je m'efforcerai de démontrer à fond, je compte aborder celle de savoir de quelle façon le réseau national et les réseaux régionaux doivent être exploités et régis.

Le réseau national, je le dis tout de suite, me paraît devoir rester sous la dépendance immédiate de l'État. Ce réseau ne peut pas être laissé aux mains de l'industrie privée. Il ne semble pas admissible qu'on puisse livrer à la gestion d'intérêts particuliers un appareil à transports embrassant la totalité du territoire, et moyennant lequel on pourrait faire à volonté sur les divers marchés la hausse et la baisse; tuer certaines industries, en avantager d'autres; amoindrir enfin ou ruiner les grands ports de commerce français.

Je développerai cette idée plus tard. Mais je considère, en somme, cette proposition comme subsidiaire, et j'admets qu'il puisse y avoir, à son sujet, des différences d'appréciation.

[1] La carte désignée n'était pas autre chose qu'une carte générale à grande échelle des chemins de fer français, sur laquelle un certain nombre de lignes rayonnantes et transversales, formant un lacis continu, étaient accusées par des traits plus forts, tandis qu'on y avait dessiné par des traits plus fins, égaux entre eux, toutes les autres lignes existantes ou en construction, comprises dans les mailles du lacis principal, et cela sans distinction du caractère actuel de ces lignes et des compagnies de qui elles relèvent.

Quant aux réseaux régionaux, eu égard à la situation spéciale dans laquelle ils se trouvent, à la fonction secondaire qu'ils remplissent, ils peuvent, au contraire, sans inconvénient aucun, et au grand avantage du pays, être attribués à l'industrie privée, mais seulement, toutefois, à des conditions différant de celles admises aujourd'hui pour les grandes compagnies, et que je m'efforcerai de déterminer.

Telles sont, Messieurs, les thèses que je me propose de développer devant vous.

Inutile certainement de dire un mot de l'importance de la question que j'agite.

Cette importance est connue de tout le monde. On sait que depuis huit ans le Parlement s'occupe sans relâche des difficultés que soulève le régime de nos chemins de fer; que depuis trois ans surtout la question a pris les proportions et le caractère d'une véritable crise.

La nécessité fortement sentie d'augmenter le développement de nos voies ferrées et d'étendre à tous les marchés secondaires le bienfait de la vapeur rencontre, dans les conditions qui président, depuis vingt ans surtout, à la constitution du nouveau mode de locomotion, des obstacles de plusieurs ordres.

Si les grandes compagnies formées de 1852 à 1857 présentent, par leur forte organisation, par l'intelligence avec laquelle elles sont administrées, des garanties de bon fonctionnement, le pays se plaint hautement du monopole dans lequel elles l'étreignent. La navigation intérieure agonise, là où elle n'est pas morte encore, sous une concurrence qui la ruine, sans profiter au pays. Le cabotage lui-même lutte avec peine partout où il est aux prises avec la voie ferrée. Le commerce souffre non pas seulement de l'élévation des tarifs qu'on lui impose, mais de leur confusion et de leur complication inextricable. L'industrie enfin réclame hautement contre un état de choses qui permet aux compagnies de changer, à leur gré, les conditions naturelles de ses marchés de vente et d'approvisionnement, qui favorise certains ports étrangers au détriment des nôtres, et donne à des transporteurs du dehors le moyen de traverser la France au quart du prix que payeraient, pour le même parcours, les producteurs nationaux. Et pendant ce temps, les compagnies, — exclusivement occupées chacune du développement de son trafic propre, — ne s'inquiètent aucunement des mesures d'ensemble à prendre pour lutter efficacement contre la concurrence étrangère qui nous menace, concurrence dont la constitution des lignes d'État, en Allemagne et en Italie, augmente chaque jour la puissance et le danger. (Très-bien.)

Ce n'est pas tout : à côté des grandes compagnies se sont développées quelques compagnies secondaires, et ont été créées des lignes d'intérêt local. Mais, loin d'atténuer le mal, ces petites lignes ne font que l'aggraver.

Les compagnies secondaires végètent. Ne possédant pas un domaine propre, coupées et concurrencées par les lignes du grand réseau que protège la garantie de l'État, n'atteignant presque nulle part les principales sources de trafic, elles se voient enlever, par leurs puissantes rivales, les éléments de transport sur lesquels elles avaient compté.

Quant aux chemins de fer dits *d'intérêt local*, ils ne sont pas, bien s'en faut, dans une situation meilleure. Par un vice constitutif de la loi qui les a créés, ce sont, à de rares exceptions près, des entreprises quasi mort-nées, qui ont bien de la peine à vivre.

Ainsi, d'une part, de grandes compagnies protégées et garanties, dont l'opinion publique n'admettrait pas, sans vives protestations, qu'on étendît le monopole déjà si lourd; de l'autre, de petites compagnies qui meurent d'inanition et menacent le pays d'un désastre financier : tels sont les termes en face desquels se sont trouvés placés les pouvoirs publics, à un moment où l'industrie nationale demande à grands cris l'abaissement des tarifs, surtout leur sévère réglementation, et où les localités jusqu'à ce jour déshéritées réclament pour elles aussi le bienfait dont elles ont aidé à doter les autres parties du territoire.

Les préoccupations naissant de cette situation ont, vous le savez, Messieurs, vivement agité le Parlement dans ces derniers temps, déterminé des mesures graves, et dans le nombre des amis qui ont bien voulu m'honorer de leur présence au bureau, figurent deux des hommes qui ont, avec le plus d'autorité et de compétence, traité la question à la tribune.

Dans ces conditions, tout le monde se dit que les mesures récemment adoptées n'ont pas de caractère définitif; que c'est un simple palliatif, et qu'il reste beaucoup à faire.

On sent que l'on est arrivé, dans le développement de la viabilité ferrée, à un tournant de la route; qu'il faut quelque idée nouvelle qui porte la lumière dans le chaos, quelque remède énergique, quelque système radical qui nous arrache aux embarras surgissant de toutes parts.

Cette situation, qui frappe de suspicion l'organe le plus essentiel de notre existence économique, de notre vie nationale, n'est méconnue de personne. J'ai tort de dire de personne. Il y a quelqu'un qui ne s'en émeut pas : ce sont les grandes compagnies.

Vous avez pu lire récemment, Messieurs, et j'ai là sous les yeux un travail dû au directeur d'une des grandes compagnies françaises. Suivant lui, ce qui se passe n'est pas grave. Il n'y a rien d'inquiétant dans un état de choses qui a récemment obligé l'État, pour empêcher des compagnies de sombrer, à racheter plus de 2,000 kilomètres de chemins de fer. Ce sont là des misères. Il n'y a pas aujourd'hui, pour les chemins de fer, de question générale posée devant le pays.

Douce quiétude! Ce langage ne vous rappelle-t-il pas, Messieurs, une

parole sinistrement joviale prononcée récemment : le fameux *Beati possidentes,* dont toute l'Europe a frémi? Heureux, en effet, ceux qui possèdent! Tout n'est-il pas au mieux, puisqu'ils sont contents? Et bien mal inspirés sont ceux qui essayent d'y changer quelque chose. (Très-bien!)

Cela dit, je vais entrer dans la question par le côté technique, qui est le point de vue essentiel.

Pour justifier l'organisation nouvelle, le système particulier que je préconise, il faut nécessairement que j'expose sur quelles considérations je m'appuie, et que je démontre le bien fondé de mes déductions.

Le chemin de fer, je l'exprimais en commençant, est volontiers considéré comme une machine à transports qui travaille toujours dans les mêmes conditions et est la même partout. Il y a dans la constitution de cette machine, en effet, bien des choses identiques. L'apparence extérieure est la même, le mode de fonctionnement ne change pas, et cependant nous voyons des chemins de fer qui ont coûté à établir 500,000 à 600,000 fr. par kilomètre, et d'autres qui ont été construits pour des sommes même inférieures à 100,000 francs.

Il y a là quelque chose qui, par un côté essentiel, caractérise un appareil susceptible d'une certaine élasticité, doué d'une certaine souplesse dans ses dispositions organiques.

J'ai prononcé le mot de machine à transports. Le chemin de fer n'est pas, en effet, autre chose. Si cette machine spéciale ne jouit pas, comme les générateurs de force en général, comme la machine à vapeur courante par exemple, de la possibilité de varier dans sa puissance, depuis la force de 1 ou 2 chevaux jusqu'à celle de 400 ou 500 chevaux et plus, elle a cependant en elle cette propriété de varier, comme je l'indiquais, quant à ses frais d'établissement, dans la limite du simple au quintuple, et même au décuple. Il y a là un précieux élément d'élasticité dont il faut savoir tirer parti, et il importe de se rendre compte des circonstances qui donnent à la machine chemin de fer la souplesse dont il s'agit.

Il y a des gens qui se sont flattés d'avoir des secrets particuliers pour construire des lignes à bas prix. Nous savons des industriels qui prétendent avoir le talent spécial de construire à 100,000 francs le kilomètre et même moins des lignes qui, dans d'autres mains, coûteraient beaucoup plus cher. C'est là une prétention qui ne se peut soutenir. Les chemins de fer construits à bas prix par eux ne sont pas les mêmes que ceux construits à haut prix par d'autres. Entre les uns et les autres il existe des différences essentielles. Ce ne sont pas des machines de même puissance, et l'abaissement des frais de construction n'implique, en aucune façon, des traits de génie de la part de ceux qui le réalisent.

Il y a seulement une chose à dire : c'est que là où il n'y a pas génie, il peut y avoir acte de bon sens.

Si l'on n'a besoin que d'une machine de faible puissance, on fait parfaitement bien de ne dépenser pour l'avoir qu'une somme réduite au lieu d'y consacrer des sommes plus élevées. De secret spécial, il n'y en a pas, mais le calcul industriel peut être excellent.

Deux chemins de fer, avons-nous dit, dont l'un a coûté peu de chose et l'autre est d'un prix élevé, ne sont pas identiquement la même machine. Ils se ressemblent pourtant; l'apparence extérieure, les dimensions essentielles sont les mêmes, mais ils diffèrent au fond par beaucoup de points.

Quelques-unes de ces différences frappent l'attention à première vue : d'un côté, un grand luxe de matériaux; de l'autre, au contraire, une extrême simplicité de construction; dans l'un, des installations très-amples, des bâtiments recherchés, des voies nombreuses, un outillage complet et soigné; dans l'autre, par contre, des installations économiques, des constructions mesquines et un outillage imparfait.

Ce sont là, dans le prix de revient, des causes de différences qu'on ne peut contester; mais la cause principale, essentielle, qui exerce sur le coût de la construction l'influence prépondérante, c'est que certains chemins de fer sont assujettis à n'avoir que des pentes faibles, des courbes à grand rayon, tandis qu'on admet pour les autres des pentes plus fortes et des rayons plus courts. De là, sur un même terrain, des différences énormes dans les frais de premier établissement.

Cela est facile à comprendre, et vous pouvez tous, Messieurs, sans être gens du métier, vous en rendre parfaitement compte. Imaginons qu'on veuille établir entre Paris et Fontainebleau, par exemple, une ligne nouvelle, un second chemin de fer appelé à desservir les plateaux de la rive gauche de la Seine restés à l'écart; et supposons qu'au lieu des pentes extrêmement faibles auxquelles a été assujetti le chemin de fer de Lyon, qui dessert seul aujourd'hui ce parcours, pentes extrêmement faibles qui ont entraîné sur certains points les immenses travaux que vous connaissez tous, on accepte, pour le nouveau tracé, des pentes de 20 à 25 millimètres, quatre à cinq fois plus fortes que celles de la ligne actuelle.

Avec ce changement de conditions, on pourrait établir, entre le point que j'indiquais et Paris, un chemin de fer qui se tiendrait partout au niveau du sol, qui l'épouserait dans son relief, en suivrait les sinuosités, et ne serait, dès lors, grevé que de la dépense relative à la voie, à la construction des stations et au matériel roulant. Mais quant à ce qui coûte le plus dans un chemin de fer de prix élevé, quant aux terrassements et aux travaux d'art nécessités pour l'établissement de la plate-forme, cette dépense serait nulle ou descendrait à un prix extrêmement bas.

C'est donc là le point caractéristique. C'est le régime adopté pour les pentes qui règle, le plus souvent, la dépense qu'engendre la construction

des chemins de fer. Mais, en même temps, ce qu'il faut dire, c'est que le chemin de fer qui a de fortes pentes est par cela même un appareil moins puissant que le chemin de fer dont les pentes sont faibles. Je n'en donne pas la raison technique; mais elle tombe sous le sens. Qu'on s'en rende ou non exactement compte, chacun comprend qu'il en est des chemins de fer comme des routes, et que le poids du convoi qu'une locomotive entraîne décroît rapidement quand augmente l'inclinaison de la rampe à gravir. Si donc on a dans un cas une machine de la force de 100 chevaux, par exemple, on n'aura plus dans l'autre qu'une machine de 20 ou 25 chevaux.

Ainsi, redisons-le bien, on n'a pas, en général, le même chemin de fer, la même machine, le même outil, pour une faible dépense que pour une forte. Mais, d'autre part, au point de vue économique et industriel, quand l'outil que l'on a suffit à l'importance de la fonction à remplir, on a tout ce qui convient, et il serait inutile, fâcheux, déraisonnable, d'aller engager un capital plus considérable pour se procurer un instrument qui dépasserait en puissance d'action les besoins auxquels il doit satisfaire. (Très-bien! et applaudissements.)

C'est une face de la question sur laquelle je reviendrai; car c'est là une circonstance à relever comme élément de différenciation à établir entre les lignes à créer, suivant l'aptitude qu'elles doivent avoir.

Mais, si les chemins de fer présentent, au point de vue de leur construction, l'élasticité que je viens d'indiquer, on retrouve aussi dans l'exploitation, entre d'autres limites que pour la construction, mais d'une manière analogue, des éléments de souplesse, des conditions d'élasticité qui dépendent de la façon dont cette exploitation est organisée.

Sans doute il n'existe pas, en France du moins, — là seulement où je devais chercher mes exemples, pour qu'ils fussent comparables, — des spécimens de divers modes d'exploitation, bien tranchés et suffisamment développés surtout pour chaque cas. L'exploitation des grandes compagnies, qui n'est que l'un de ces cas, dépasse de beaucoup en étendue le champ d'action des compagnies secondaires et des compagnies locales. Toutefois, en étudiant les faits avec soin, il semble qu'on peut les résumer dans les formules écrites sur le tableau qui est sous vos yeux. (L'orateur désigne un tableau placé derrière lui, à côté du bureau [1].)

Ces formules sont extrêmement simples, mais elles sont fort importantes

[1] Les formules que portait le tableau sont celles-ci :

$$X = 6{,}000^{f} + 0{,}25\ P$$

Limite entre P et P′, 30,000^f.

$$X' = 3{,}000 + 0{,}35\ P'$$

Limite entre P′ et P″, 10,000.

$$X'' = 1{,}500 + 0{,}50\ P''.$$

dans la question qui nous occupe, et je vous demande la permission de vous en indiquer en quelques mots le sens et la portée.

L'expression de frais de transport quelconques se trouve dominée par cette considération qu'il y a toujours dans les dépenses à faire deux éléments de caractère différent. Il y a ce que j'appellerai la *mise en train* du service, puis la *dépense en route*. De là, deux termes distincts et indépendants l'un de l'autre. Et cela n'est pas vrai pour les chemins de fer seulement, mais se retrouve invariablement dans l'expression de frais de transport au moyen de tous les genres de véhicules possibles, depuis les tombereaux et wagons employés dans les chantiers de terrassements, jusqu'aux bateaux qui flottent sur nos fleuves et nos canaux, et aux navires qui sillonnent les mers.

Maintenant, quand on classe les frais de transport correspondant aux divers modes employés, en mettant en évidence les deux éléments caractéristiques qui les constituent, voici ce que l'on constate.

Pour les machines à transports de faible puissance, l'élément constant, celui qui se rapporte aux frais de mise en train, n'a pas une grande valeur. Quand, au contraire, la puissance de la machine croît, l'élément constant augmente, et l'élément proportionnel à la distance, celui qui exprime la dépense en route, va en décroissant. C'est un fait que connaissent tous les hommes du métier, pour les divers véhicules dont ils font usage. C'est, on peut le dire, un fait universel.

Eh bien! dans le chemin de fer lui-même, quand on considère les diverses variétés qu'il comporte, on retrouve la même loi. C'est-à-dire que, lorsqu'il s'agit de chemins de fer puissamment organisés, dont les installations sont amples et complètes, les voies parfaitement établies, pouvant porter des trains multipliés et rapides, aussi bien de nuit que de jour, — pour ces chemins, disons-nous, l'élément constant, celui qui grève les frais de transport, indépendamment de la distance parcourue, atteint une valeur élevée, tandis que cet élément s'abaisse progressivement, à mesure que l'ampleur des installations diminue, et que la mise en action prend des proportions plus modestes. Mais inversement aussi, moyennant une bonne administration, au chemin de fer puissant correspondent des dépenses en route plus faibles qu'elles ne le sont pour les lignes moins bien outillées.

Les formules écrites sur le tableau représentent les frais d'exploitation au kilomètre de voie. X, X′ et X″ expriment ces frais suivant les divers cas; l'élément constant est donné en francs, et les lettres P, P′ et P″ y représentent les produits bruts.

De ces formules, la première : $X = 6{,}000^{f} + 0{,}25\ P$ correspond aux grandes lignes.

Comparée aux résultats donnés par ces lignes, pour leur exploitation

actuelle, cette formule serait faible. Au lieu de 6,000, il faudrait mettre 7 à 8,000 francs, et au lieu de 25 p. 0/0 du produit brut, il faudrait un coefficient plus élevé. Cependant, si cette formule est insuffisante aujourd'hui, il n'en a pas toujours été ainsi.

Quand on recherche les frais d'exploitation de certaines compagnies, à une époque déjà reculée, alors qu'elles étaient chargées de réseaux moins étendus que ceux qu'elles exploitent à cette heure, on constate qu'elles opéraient en vertu de formules plus favorables que celle dont il s'agit.

J'ai là une note d'où résulte que le réseau d'Orléans, qui, il est vrai, a presque toujours été, quant à son exploitation, le mieux administré, exploitait, en 1867, un ensemble de 3,000 kilomètres de lignes, tant ancien que nouveau réseau, d'après une formule dont l'élément constant, au lieu de 6,000 francs, ne dépassait pas 5,550 francs, et dont l'élément proportionnel, au lieu de 25 p. 0/0 du produit brut, descendait presque à 20 p. 0/0. Cette compagnie opérait donc alors dans des conditions plus avantageuses que ma formule ne l'indique. Et cependant, à ce moment, sa recette kilométrique était inférieure aux moyennes actuelles des grandes lignes. Pour l'ancien réseau, cette recette était de 47,000 francs seulement, tandis que la moyenne générale de 1875 dépasse 68,000 francs, et, pour le nouveau réseau, la recette d'Orléans atteignait à peine 18,000 francs, tandis que la moyenne de 1875 excède 21,000 francs.

Donc cette première formule, qui serait aujourd'hui considérée comme trop faible par les grandes compagnies, a cependant été celle de leur exploitation dans une période antérieure.

Quant à la seconde formule, elle correspond aux chemins de fer secondaires, aux chemins de fer organisés, par exemple, comme l'a été pendant quelque temps le réseau des Charentes. Cette période n'a eu pour lui qu'une courte durée. Les embarras financiers sont venus et l'exploitation s'en est ressentie. Mais, en mettant en rapport les frais d'exploitation avec les produits bruts, pendant les années d'installation de 1867 à 1872, on trouve, malgré le faible développement et le morcellement des lignes alors exploitées, des résultats plus favorables que ceux déduits de la seconde formule.

Quant à la troisième enfin, c'est elle qui nous donne les frais d'exploitation des chemins de fer d'intérêt local, de ces chemins dont les installations sont réduites au minimum possible. Cette formule encore, comme la précédente, cadre assez bien avec les résultats des petites lignes dont l'existence n'est pas trop tourmentée; et, là où une certaine stabilité existe, les chiffres réels sont plus favorables même que ceux de la formule. Nous citerons comme exemples de ce dernier cas la petite ligne de Belleville à Beaujeu, de 13 kilomètres seulement, et celle d'Abancourt au Tréport, qui exploitent toutes deux, dans des conditions bien plus avantageuses que celles

données par la troisième formule, des trafics au-dessous de 10,000 francs par kilomètre.

Ces formules, comme vous le voyez, ont le caractère que je vous annonçais et qui les spécialise : l'élément constant qu'elles contiennent va en diminuant, tandis que l'élément proportionnel aux produits bruts va en s'élevant à mesure que décroît la puissance de l'appareil à transports considéré. Cela prouve que ces formules sont rationnelles; mais je ne prétends pas pour cela que les termes qui les composent soient absolument exacts. Il s'agit d'ailleurs, dans l'espèce, d'éléments numériques qui varient avec le taux des fournitures et des journées qui concourent à l'exploitation. Je ne pose donc pas ici des chiffres absolus et invariablement déterminés. Je dis seulement que ces formules, sauf de légères différences en plus ou en moins, expriment une loi naturelle, une loi pratique.

Or, cette loi pratique conduit à cette conséquence importante à considérer, c'est que si l'on prend l'échelle des produits bruts, — je demande bien pardon à l'auditoire de m'arrêter si longtemps sur ces détails, mais ils sont essentiels pour la clarté de ce qui va suivre; — si l'on prend, dis-je, l'échelle des produits bruts, chacune des formules posées s'adapte plus particulièrement à une partie de l'échelle; mais en deçà et au delà elle donne des résultats moins avantageux que l'une des deux autres ou que toutes deux.

Ainsi, pour un chemin de fer appelé à desservir une zone étendue, à porter un trafic considérable, il faut avoir recours à l'organisation correspondant à la première formule. Mais, si l'on voulait adopter la même organisation pour un trafic descendant au-dessous de la limite inférieure d'application de cette formule, qui correspond au chiffre de 30,000 francs, ainsi qu'il est indiqué sur le tableau, on obtiendrait des résultats moins avantageux que n'en donnerait une organisation plus simple, en rapport avec la deuxième formule. Il en est de même pour cette formule intermédiaire. Son champ d'application normal va depuis le trafic de 30,000 francs jusqu'au trafic de 10,000 francs, et la troisième enfin a ce même trafic de 10,000 francs pour limite supérieure.

Il n'est sans doute jamais possible d'organiser une exploitation en vue d'un trafic strictement déterminé, puisque ce trafic peut croître ou décroître. La pratique ne comporte pas de ces déductions rigoureuses, et d'ailleurs quand on ne s'éloigne pas trop des limites voulues, les écarts numériques sont minimes. Mais, d'autre part, ce que les faits, pleinement d'accord sur ce point encore avec les formules, démontrent avec une parfaite netteté, c'est que, lorsqu'un même service d'exploitation s'applique à des trafics trop différents entre eux, il ne s'adapte exactement à aucun et les dessert tous trop chèrement.

Les grandes compagnies en offrent un exemple frappant. En même

temps que les artères les plus productives, ces compagnies embrassent des lignes dont les produits bruts se rapprochent de ceux du défunt réseau des Charentes et des lignes plus modestes encore que nous avons citées. Eh bien! pour ces faibles trafics, les grandes compagnies arrivent à des frais d'exploitation hors de toute proportion avec ceux que dépensent les petites compagnies. Les écarts vont en général du simple au double; et, là où une exploitation plus ou moins bien appropriée obtient des bénéfices, les grandes compagnies, avec leur organisation démesurée, réalisent parfois des pertes de 50, 100 et jusqu'à 150 p. o/o.

Il est donc démontré que le chemin de fer est doué dans ses éléments constitutifs d'une certaine élasticité, aussi bien au point de vue de la construction qu'au point de vue de l'exploitation.

Dès lors, suivant que l'on est appelé à desservir de grands trafics ou de faibles trafics, il faut, dans le premier cas, construire le chemin de fer le plus parfait possible, en fixant, au besoin, un capital considérable, afin de réduire au minimum possible les frais de manutention; tandis que là où l'on est, au contraire, en présence d'un faible trafic, il faut réduire autant que possible le capital que l'on fixe, dût-on, en faisant cela, voir les frais de traction augmenter dans une certaine mesure. Et de même, quant à l'exploitation, nous venons de voir combien il importe d'adapter l'organisation de celle-ci à l'importance du trafic à desservir.

Il serait difficile sans doute de résumer les règles qui se dégagent des considérations qui précèdent dans une formule abstraite qui donnerait la solution applicable à toutes les situations données. Mais, dans chaque cas particulier, rien n'est plus simple que d'y arriver, et la question se réduit toujours à ceci, c'est qu'en prenant l'ensemble des éléments qui entrent dans l'opération : d'une part, la dépense annuelle d'exploitation convenablement évaluée, et de l'autre, la somme nécessaire pour amortir le capital à dépenser, suivant que l'on adopte tel ou tel système de tracé et de pentes, ce qu'il faut, dans chaque cas donné, pour qu'on ait fait une opération industrielle raisonnable, c'est que l'ensemble des éléments soit le plus faible possible, soit, ce que nous appelons un *minimum,* nous autres, gens du métier. (Marques d'approbation.)

Voilà ce qu'il faut, voilà la condition essentielle, celle qui doit servir à déterminer le mode d'après lequel il convient de construire toute ligne de chemin de fer et d'en organiser l'exploitation.

Maintenant, Messieurs, après avoir fixé ce point, après avoir montré quelle élasticité possède l'appareil à transports dont nous nous occupons et les conséquences qui en découlent, je dois aborder une autre question.

Cette autre question est celle-ci : la longueur d'un chemin de fer, qui est à peu près indifférente au point de vue des frais de construction, a, au

contraire, une grande importance au point de vue des dépenses d'exploitation auxquelles il est assujetti.

Quoi qu'on fasse, on retombe encore ici dans ce que je disais tout à l'heure, relativement aux frais de mise en train et des dépenses en route.

Lorsqu'un chemin de fer est très court, chaque kilomètre est forcément grevé de frais généraux considérables, et sa manutention proprement dite devient elle-même relativement d'un prix plus élevé.

On ne peut donc pas, lorsqu'on considère le fonctionnement d'un chemin de fer, s'isoler de cette idée, qu'il doit avoir un certain développement; et ce développement doit être d'autant plus considérable que les frais généraux eux-mêmes grèvent, dans une proportion plus forte, les dépenses de manutention.

Cette circonstance, je tiens à le dire, justifie pleinement, au point de vue technique, la constitution qui s'est faite, à un moment donné, de ce que nous appelons aujourd'hui les réseaux des grandes compagnies.

Lorsque les chemins de fer ont été créés, ils se sont développés sous la double influence qui se disputait le terrain : d'une part, l'initiative individuelle; de l'autre, l'action du Gouvernement.

On a alors fait des chemins de fer un peu partout. Des tronçons de lignes d'un certain développement se sont ouverts dans plusieurs régions du pays, et, fait assez remarquable, c'est loin de Paris que se sont constituées les premières voies ferrées.

En 1851 et en 1852, la situation était celle-ci :

Il n'y avait, à cette époque, qu'une faible étendue de lignes à l'état d'exploitation, et elles étaient partagées en tronçons extrêmement courts. En dehors des compagnies naissantes de l'Est et du Nord, dont l'exploitation s'étendait à quelques centaines de kilomètres, il existait dans le pays vingt-cinq ou vingt-six autres compagnies qui avaient établi et exploitaient des lignes dont l'étendue n'atteignait pas chacune 100 kilomètres. Ces lignes étaient pour la plupart séparées de Paris, qui était cependant leur objectif, et elles ne pouvaient l'atteindre qu'en empruntant des rails ne leur appartenant pas. Dans ces conditions, leur existence était difficile. Il se manifesta alors chez elles cette tendance naturelle qui anime des éléments destinés à s'organiser, une tendance à la concentration. Ce mouvement, dont nous avons senti le besoin à ce moment-là, se produit aujourd'hui dans les pays qui sont le plus restés en dehors de toute ingérence gouvernementale dans le développement des chemins de fer, comme l'Angleterre et l'Amérique. En Angleterre aujourd'hui on tend à jonctionner les lignes, à en faire des réseaux, à les rattacher les unes aux autres.

Chez nous, cette nécessité a été sentie plus tôt, et c'est elle qui a déterminé cette concentration, phénomène organique nécessaire, lequel a eu

pour effet de constituer l'appareil dont on a fait, depuis, les réseaux des six grandes compagnies.

Comme je le disais, pour moi, ce mouvement a sa raison d'être dans la nature des choses. Je ne l'examine pas en ce moment au point de vue du monopole qu'il a engendré. Mais, par le côté technique, c'était un mouvement favorable. Il était bon que le champ d'exploitation de chaque compagnie prît un certain développement kilométrique.

Cette limite n'a-t-elle pas été dépassée? On pourrait le croire, et ce qui semble le prouver, c'est que si l'on compare les résultats de l'exploitation à l'époque où les réseaux n'avaient qu'un développement modeste, avec ce que les compagnies dépensent aujourd'hui qu'elles étendent leur exploitation sur un champ beaucoup plus vaste, on arrive à trouver que les frais proportionnels d'exploitation, loin de se réduire, comme cela devrait être, à mesure que le réseau s'étend, vont au contraire en augmentant sans cesse.

Je puis vous citer quelques chiffres.

En 1859, à un moment où l'ancien réseau des six grandes compagnies comprenait un développement total dépassant peu 6,000 kilomètres, la charge du nouveau réseau étant faible encore, ce qui ne donnait à exploiter à chacune d'elles qu'un millier de kilomètres environ, l'exploitation de l'ancien réseau considéré isolément se faisait alors à un prix de revient de 40 p. o/o du produit brut, et ce produit brut s'élevait lui-même à 53,000 francs environ le kilomètre.

Plus tard, en 1869, lorsque les réseaux s'étaient accrus, et avaient à peu près doublé, lorsque les compagnies avaient déjà la charge d'un nouveau réseau quatre à cinq fois plus étendu qu'en 1859, à ce moment, l'ancien réseau seul, cet ancien réseau, dont le produit s'était élevé de 53,000 à 60,000 francs le kilomètre, et qui s'était développé lui-même, double raison pour qu'il fonctionnât moins chèrement, coûtait davantage, au contraire, car la proportion de ses frais d'exploitation était passée de 40 p. o/o à près de 42 p. o/o.

Sans être trop absolu, sans vouloir tirer de là la preuve évidente que l'on avait déjà à ce moment excédé les limites voulues, il y a tout lieu de le croire, et, pour mon compte, je suis persuadé qu'il en était ainsi. Les hommes les plus compétents sont tous persuadés qu'il y a des limites au delà desquelles il ne faut pas aller.

On fixe à 1,500, à 2,000, 2,500 kilomètres, au maximum, l'étendue de ce que peut embrasser une exploitation rationnellement faite et bien organisée.

Ce sont là des limites dont il importe de ne pas trop s'écarter; et s'il fallait donner une explication abstraite de ce fait singulier, qu'au delà d'une certaine amplitude, à mesure qu'un réseau s'étend, loin qu'il y ait

avantage à son extension, cet avantage cesse et l'on arrive à un résultat inverse, on trouverait cette explication dans les circonstances que je vais indiquer.

L'exploitation d'un chemin de fer, considérée dans son ensemble, n'est pas, à vrai dire, autre chose qu'un vaste atelier dont toutes les parties sont solidaires, dont tous les agents sont des éléments d'un même tout, concourant à une même fin.

Eh bien! un atelier doit avoir le développement nécessaire pour que la division du travail puisse se produire dans les limites les plus larges possibles. Mais lorsque ces limites ont été atteintes, si on les dépasse, qu'arrive-t-il? La division du travail ne pouvant être poussée plus loin, la seule chose possible à faire c'est de juxtaposer un second atelier à l'atelier déjà existant. Gagne-t-on quelque chose à cela? Au contraire, car, à ces deux ateliers juxtaposés, il faut un état-major qui les relie entre eux.

C'est ce qu'ont dû faire la plupart des compagnies qui ont étendu leur réseau d'une manière disproportionnée.

Lorsque ces compagnies ne dépassaient pas, pour leur exploitation, un maximum de 1,500 à 2,000 kilomètres, il suffisait d'une seule administration siégeant à Paris. Quand le champ d'action s'est étendu, il a fallu créer des centres de direction secondaires sur divers points du territoire.

Le service n'y a pas gagné et les frais d'exploitation y ont perdu.

Voici donc, Messieurs, une série de circonstances que je recommande à votre attention: celles que j'indiquais tout à l'heure et qui sont relatives aux principes techniques et économiques qui doivent présider à la construction et à l'exploitation des chemins de fer, et celles qui résultent de la nécessité d'avoir des réseaux d'un certain développement, sans que pourtant ces réseaux soient trop étendus.

Il faut se demander maintenant quelle est, d'après la manière dont il s'est formé, la situation exacte du réseau français et quels sont les résultats qu'il donne dans les mains des compagnies qui l'exploitent.

Une première chose, je crois, c'est que les réseaux partiels ont, en général, trop de développement; que sur chacune des grandes compagnies pèse une charge trop lourde. Mais une circonstance plus importante que celle-là, et qui me paraît la clef des défauts que je signale au point de vue technique, c'est le pêle-mêle des lignes qui composent le réseau de chaque compagnie, pêle-mêle qui tient à la façon dont ces réseaux se sont constitués.

Pour les former, on a successivement ajouté des lignes les unes au bout des autres en dehors de tout classement, de tout plan d'ensemble préétabli. Il est alors arrivé que, tant au point de vue de la construction qu'à celui de l'exploitation, on a procédé comme si un réseau de chemin de fer devait être identique dans toutes ses parties. On a fait, en un mot,

ce que ferait la nature si elle créait un arbre dont les branches seraient toutes aussi grosses que le tronc. On a construit les lignes à faible trafic comme avaient été construites les lignes à grand trafic, à peu près dans les mêmes conditions, d'après les mêmes errements, conformément aux mêmes types, et on les exploite également avec le même personnel, suivant les mêmes dispositions, d'après les mêmes règles.

Il y a là un vice capital, et c'est ce qui entraîne la plupart des fâcheuses circonstances que je vous ai signalées. Les compagnies elles-mêmes n'ignorent certainement pas l'avantage qu'il y aurait pour elles à établir, suivant des modes d'exploitation distincts, le service de lignes dont les trafics sont si différents. Mais elles ne le peuvent pas, et la raison en est simple. Les lignes de second ordre ne constituent pas pour chaque compagnie un réseau à part qui puisse être soumis à d'autres règles d'exploitation que celles des grandes lignes au milieu desquelles ces lignes secondaires sont enchevêtrées.

On nous parle, c'est l'expression courante, d'ancien et de nouveau réseau; mais ce mot n'est pas, quand on l'applique au nouveau réseau des grandes compagnies, pris dans son sens naturel.

Le nouveau réseau de chacune des grandes compagnies n'est pas du tout un lacis continu comme cela devrait être pour qu'il portât légitimement le nom de réseau. Ce sont des tronçons isolés, des branches éparses jetées de côté et d'autre, et il serait impossible à aucune de ces compagnies de constituer, d'une part, une exploitation pour ses grandes lignes, et, d'autre part, une exploitation pour ses lignes secondaires. Et cependant ce besoin est si bien senti par elles que là où la différenciation est possible, là où les circonstances s'y prêtent, là, par exemple, où une ligne à faible trafic présente assez d'étendue pour qu'il soit possible d'y appliquer des règles d'exploitation spéciales, les compagnies intelligentes s'empressent d'entrer dans cette voie, et le taux des frais d'exploitation s'en ressent immédiatement et s'abaisse.

On peut citer, à l'appui de ce dire, quelques longues lignes peu riches en produits bruts des réseaux de l'Ouest et d'Orléans, et qui sont exploitées avec une économie relative.

Un fait frappant encore et qui concorde bien avec la thèse que je soutiens, c'est que les grandes compagnies qui ont à desservir des réseaux de banlieue, en même temps que des grandes lignes, ont compris qu'il fallait, pour des services ayant un caractère spécial et répondant à des besoins différents, organiser l'exploitation suivant un mode distinct.

Tout le monde sait que la compagnie de l'Ouest, par exemple, qui dessert un réseau de banlieue assez étendu, enchevêtré dans ses grandes lignes, mais pouvant être exploité à part, a organisé pour lui un service absolument spécial qui n'a rien de commun avec celui des lignes à long

parcours, lesquelles empruntent pourtant, sur plusieurs points, les rails du réseau de banlieue.

Si les autres compagnies n'ont pas obéi à cette nécessité de différenciation, si la compagnie de l'Ouest elle-même, en dehors de ses lignes de banlieue, exploite presque tout le reste de son réseau par les mêmes moyens, c'est parce que le pêle-mêle et l'enchevêtrement des lignes de diverse importance oppose à leur classement un obstacle absolu.

De l'état de choses que je signale, du fait de cette confusion entre des lignes appelées à desservir des trafics extrêmement différents, résulte un double inconvénient portant à la fois sur la construction et sur l'exploitation.

Quant à la construction, en dehors d'un classement préconçu, permettant de donner à chaque ligne, suivant sa destination, le caractère qui lui appartient, on les construit toutes à peu près de la même manière, et alors on dépense beaucoup trop pour les lignes de second ordre. C'est ce que montrent, avec la plus haute éloquence, les chiffres portés au tableau, qui donnent, pour deux exercices (1874 et 1875), les principaux faits statistiques relatifs aux grandes lignes [1].

En 1874, les grandes lignes avaient coûté, au kilomètre, celles de l'ancien réseau 525,600 francs, celles du nouveau réseau 414,000 francs, ce qui ne fait ressortir qu'une très légère différence de prix. Mais encore faut-il remarquer que presque toutes les lignes de l'ancien réseau sont à double voie et construites pour recevoir la double voie. Il n'y a qu'un tiers

[1] Les indications statistiques écrites sur le tableau noir étaient les suivantes :

	EXERCICE 1874. RÉSEAUX			EXERCICE 1875. RÉSEAUX		
	ANCIENS.	NOUVEAUX.	RÉUNIS.	ANCIENS.	NOUVEAUX.	RÉUNIS.
Coût kilométrique de construction. Subventions.	84,900f	47,500f	67,500f	84,600f	48,960f	67,830f
Coût kilométrique de construction. Dépenses des Cies	440,700	366,500	406,000	445,500	365,320	407,770
TOTAL	525,600	414,000	473,500	530,100	414,280	475,600
Proportion de lignes à simple voie	32,8 p. o/o.	83,2 p. o/o.	"	"	"	"
Coût kilométrique, si les deux voies étaient posées	545,000f	515,000f	"	"	"	"
Produits bruts kilométriques.	66,430f	20,700f	45,200f	68,716f	21,453f	46,464f
Frais d'exploitation	30,356	14,636	23,060	30,310	14,230	22,750
Produits nets	36,074	6,064	22,140	38,406	7,223	23,714
Rapport du produit net au coût réel	6,86 p. o/o.	1,46 p. o/o.	4,68 p. o/o.	7,24 p. o/o.	1,74 p. o/o.	4,98 p. o/o.
Rapport des frais d'exploitation au produit brut	45,69 p. o/o.	70,70 p. o/o.	51,02 p. o/o.	44,11 p. o/o.	66,33 p. o/o.	48,96 p. o/o.

environ de la longueur où la seconde voie reste à poser; tandis que les lignes du second réseau sont pour les cinq sixièmes à simple voie, et ces lignes ont été généralement établies sans que les terrains soient achetés, les terrassements faits et les travaux d'art construits pour deux voies.

Par suite, si, pour comparer le prix de revient de ces diverses lignes, on les ramenait au même type, en les supposant, par exemple, les unes et les autres à double voie, il suffirait, en ce qui concerne les lignes de l'ancien réseau, d'ajouter le coût de la seconde voie, ce qui, à raison de 60,000 francs le kilomètre, portant sur un tiers de la longueur seulement, élèverait le prix moyen de 20,000 francs, et le porterait à 545,000 francs. Mais, pour les lignes du nouveau réseau, le calcul ne serait plus le même. Il ne s'agirait plus ici d'ajouter simplement une voie. Il y aurait des travaux supplémentaires à faire, des terrassements à élargir, des ouvrages d'art à refaire; cela entraînerait au moins une dépense de 120,000 à 130,000 francs le kilomètre, ce qui conduit, en prenant les cinq sixièmes de l'augmentation, à forcer le prix moyen de 100,000 francs et à le porter à 515,000 francs.

Ainsi, les lignes de l'ancien réseau, construites, outillées avec l'ampleur et le luxe que vous connaissez, ces lignes qui desservent une circulation énorme, et rapportent, en moyenne, aujourd'hui, par kilomètre, 65,000 à 70,000 francs; ces lignes, dis-je, n'ont pas coûté sensiblement plus cher que celles du nouveau réseau ramenées au même type. C'est-à-dire, en un mot, que deux machines, dont l'une fait un service représenté par 65 ou 70, et dont l'autre en fait un représenté par 20 ou 21, ont coûté le même prix, reviennent aussi cher l'une que l'autre.

Aussi qu'arrive-t-il? Quels résultats obtient-on? C'est que, — sans ramener, bien entendu, les lignes au même type, en prenant les coûts réels de construction, tels qu'ils sont portés au tableau, — pendant que les lignes de l'ancien réseau rapportent net 6,86 p. 0/0 de ce qu'elles ont coûté, les lignes du nouveau réseau n'arrivent à donner que 1,46 p. 0/0 de leur prix de construction.

Ces chiffres varient légèrement d'une année à l'autre, mais leur caractère et leur portée restent toujours les mêmes.

Voilà pour la construction.

Quant à l'exploitation, les résultats ne sont pas meilleurs.

Si l'on examine quels sont les frais d'exploitation dans le système suivi, on arrive à ceci, c'est que les lignes de l'ancien réseau sont exploitées avec un *coefficient d'exploitation*, c'est-à-dire avec un rapport entre les frais d'exploitation et le produit brut qui est exprimé par le chiffre de 46 p. 0/0, et les lignes du nouveau réseau sont exploitées au taux de près de 71 p. 0/0, ce qui est exorbitant.

Voilà deux circonstances très graves : d'une part, un prix extrêmement

élevé de construction; d'autre part, des dépenses d'exploitation également très fortes. Il n'est pas étonnant, en présence de ces deux circonstances, que le prix de revient de l'unité de trafic, ce prix de revient qui constitue le véritable fond des choses, la base essentielle, et qu'il faudrait réduire pour que le pays pût avoir, comme il le demande, des transports à bon marché; il n'est pas étonnant, disons-nous, que le prix de revient de l'unité de trafic soit extrêmement élevé.

Comme c'est là un point important, je vous demande la permission d'entrer à ce sujet dans quelques détails.

Pour l'ancien réseau, dans l'exercice 1874, — celui dont j'ai indiqué les chiffres sur le tableau [1], — la charge qui pèse sur chaque unité de trafic, c'est-à-dire sur une tonne transportée à un kilomètre ou sur un voyageur transporté à la même distance, — car il est démontré qu'à de minimes différences près la dépense dans les deux cas est la même, — cette charge, dis-je, pour l'ancien réseau, s'élève à 2 centimes 2/3 du fait de l'exploitation, et du fait de l'intérêt et de l'amortissement du capital fixé, à 2 centimes et une fraction. De sorte, en définitive, que sur l'ancien réseau le transport d'une unité de trafic revient à 4 centimes 79. Ceux de vous, Messieurs, qui savent quel est le taux de perception des chemins de fer voient tout de suite que ce chiffre ne s'écarte pas beaucoup de la moyenne du tarif perçu. En effet, le tarif moyen perçu pour les voyageurs est, sur l'ancien réseau, de 5 centimes 46, et pour les marchandises de 5 centimes 81. Il n'y a là, comme vous le voyez, que de très minimes excédents du prix perçu sur le prix de revient.

Mais quand on passe au nouveau réseau, la situation change et empire. Ici l'exploitation est déjà plus lourde par unité de trafic que pour l'ancien réseau. Au lieu de 2 centimes 2/3, la charge monte à bien près de 4 cen-

[1] Le tableau noir désigné par l'orateur portait le tableau suivant :

PRIX DE L'UNITÉ DE TRAFIC ET TARIFS MOYENS PERÇUS.

EXERCICE 1874.

	PRIX DE REVIENT DE L'UNITÉ DE TRAFIC.			TARIFS MOYENS PERÇUS.			
				VOYAGEURS K^{es}.		TONNES K^{es}.	
	EXPLOITATION.	INTÉRÊT et amortissement.	TOTAL.	TARIF.	EXCÉDENT.	TARIF.	EXCÉDENT.
Ancien réseau	0f 02c 66	0f 02c 13	0f 04c 79	0f 05c 46	+ 0f 00c 67	0f 05c 81	+ 0f 01c 02
Nouveau réseau	0 03 96	0 05 49	0 09 45	0 04 93	— 0 04 52	0 05 92	— 0 03 53
Réseaux réunis	0 02 95	0 02 86	0 05 81	0 05 33	— 0 00 48	0 05 83	+ 0 00 02

NOTA. Dans les colonnes des *excédents*, là où il y a le signe — ce sont des *déficit*.

times; et quant aux frais tenant à l'intérêt et à l'amortissement des capitaux, eu égard au moindre trafic du nouveau réseau, il ne faut plus prendre 2 centimes et une fraction, comme pour l'ancien réseau, mais presque 5 centimes 1/2 ; de telle sorte que le prix de revient de l'unité de trafic sur le nouveau réseau s'élève à 9 centimes 45, tout près de 9 centimes 1/2. Alors ce ne sont plus des bénéfices que nous avons, mais des insuffisances qui s'élèvent, pour les voyageurs, à plus de 4 centimes 1/2, et pour les marchandises, à 3 centimes 1/2 environ. C'est-à-dire que le nouveau réseau, tel qu'il est constitué, travaille à perte, et cette perte est notable.

Dans ces conditions, c'est vainement qu'on demanderait des abaissements de tarifs.

Il est évident que si l'on était en face d'une industrie proprement dite, si les chemins de fer étaient aujourd'hui, dans leur ensemble, et réellement, à la charge de l'industrie privée, ce travail à perte ne serait pas possible. Comment la situation peut-elle s'expliquer? C'est par ce fait que l'État pourvoit aux insuffisances de l'exploitation, et cela en vertu des conventions de 1858-1859, conventions fameuses, très célébrées jadis, dont peu de gens veulent aujourd'hui, si ce n'est les *beati possidentes* de tout à l'heure, les compagnies qui en ont profité et en profitent.

C'est là un point sur lequel je vous demande la permission de m'arrêter un instant, car il explique dans une large mesure l'état de choses qui existe.

Ces conventions, qui ne sont plus louées que dans un certain monde, prirent naissance à la fin de 1857, à l'occasion d'une crise financière qui menaça les compagnies à un moment où elles venaient d'accepter un supplément de concessions considérable. Pour les sauver, l'État intervint et se fit octroyer par elles des avantages importants en apparence. Il limitait le dividende des actions, imposait à l'ancien réseau, déjà très productif, de contribuer à la création des lignes du nouveau réseau. Mais, d'autre part, l'État donnait à ce nouveau réseau sa garantie, et cela eut pour résultat de faire, pour ainsi dire, des compagnies de simples régies intéressées, n'ayant plus de responsabilité sérieuse au point de vue de la gestion des intérêts qui leur étaient confiés. Dès lors, elles n'ont plus tendu qu'à se faire faire une situation assez facile et assez large pour n'avoir, au point de vue de la construction des nouvelles lignes qu'on exigeait d'elles, aucun embarras à subir. Sans doute, les sommes que l'État devait verser à titre de garantie n'étaient pas un don : c'était un prêt. Mais nous savons ce qui se passe en pareil cas. Qui a terme ne doit rien, dit un adage financier. Quand on ne doit restituer des sommes prêtées que dans un délai fort long, on cède à une tendance assez naturelle, celle de ne pas penser qu'on a une dette dont il faudra se débarrasser. Par suite, le point

important pour les compagnies a été celui-ci : puisqu'on nous donne les sommes que nous demandons pour construire les nouvelles lignes, réclamons-en qui nous permettent d'établir ces lignes de façon que nous soyons à l'aise, que nous puissions les exploiter commodément. Sans doute, elles ne rapporteront pas grand'chose, mais l'État pourvoira aux déficit; et, quant à nous, notre exploitation sera plus facile, plus économique même : ce seront de meilleures lignes, la traction y sera moins chère.

C'est ce qui explique, en dehors d'autres éléments auxquels on donne trop d'importance, que les frais de construction du nouveau réseau ont atteint des sommes si exorbitantes. On attribue, en général, l'élévation du coût d'établissement à ce que les compagnies ont pu les charger des déficit subis dans les premières années d'exploitation, et des intérêts qu'elles ont dû servir aux capitaux pendant le long temps de la construction. Ceci a certainement pesé sur le prix de revient, mais dans une mesure réduite. Ce qui y a influé par-dessus tout, c'est qu'en vertu des conventions de 1858-1859, le sentiment des compagnies est devenu, permettez-moi cette expression, un sentiment administratif au lieu du sentiment industriel qui les animait auparavant.

Elles se sont dit : Nous ne sommes plus responsables des résultats financiers de nos opérations. Nous sommes chargées de faire des appareils, de construire des machines, nous n'avons plus à nous occuper de la rémunération des capitaux. Il faut faire ces machines les plus solides possible, les mieux installées que faire se peut. Nous serons ainsi plus tranquilles. Elles rapporteront ce qu'elles pourront; cela ne nous regarde pas. Voilà le raisonnement qui a guidé les compagnies, et c'est par ce motif principalement qu'on est arrivé aux résultats indiqués plus haut.

Et remarquez combien cette circonstance a une forte part dans la situation qui pèse aujourd'hui sur le pays. Bon an, mal an, l'État doit pourvoir aux insuffisances de l'exploitation du nouveau réseau par un versement d'environ 40 ou 45 millions. Vous savez que le nouveau réseau se compose de 8,000 et quelques kilomètres. Ces 8,000 kilomètres ont coûté chacun 414,000 francs. Or, aujourd'hui l'Administration nous dit que, pour les chemins de fer qui restent à construire, la dépense kilométrique ne dépassera pas 200,000 à 220,000 francs.

Elle compte donc économiser 200,000 francs par kilomètre. Je n'irai pas jusque-là et je prendrai seulement 100,000 francs. Imaginons que les chemins de fer du nouveau réseau aient coûté 100,000 francs de moins le kilomètre. On aurait dépensé 800 millions de moins, dont l'intérêt représente justement les 40 millions que l'État paye annuellement à titre de garantie. C'est-à-dire que, si, au lieu de coûter 414,000 francs le kilomètre, les nouveaux réseaux des grandes compagnies n'en avaient coûté que 314,000, l'État n'aurait pas à s'occuper de la garantie.

Comment se fait-il que l'administration des ponts et chaussées, qui se prépare à construire aujourd'hui des chemins de fer à 200,000 francs, ait admis un prix double pour ceux confiés aux compagnies? C'est là une question à laquelle je n'ai pas à répondre. Mais ce que je viens de signaler montre combien il est important que les choses se règlent d'une manière logique et normale dans les rapports qui s'établissent entre l'État et les compagnies. C'est là un point que je recommande à votre attention.

Je me suis peut-être beaucoup trop étendu sur ce sujet. Cependant la question méritait quelques développements.

Maintenant il s'agit de terminer le réseau général de nos voies ferrées. La France est en retard sur les autres nations de l'Europe. Comment va-t-elle procéder? Vous savez les difficultés que la solution de ce problème a soulevées dans les assemblées lorsqu'on l'y a traité en 1875, et tout récemment, en 1878.

Va-t-on étendre encore et renforcer le monopole des grandes compagnies? Va-t-on, entrant en lutte avec elles, constituer de nouveaux réseaux, enchevêtrés dans les mailles de ceux existants et essayant de vivre en leur faisant concurrence. On y a songé quand il s'est agi de résoudre la question des Charentes. C'est là un point de vue auquel je ne m'associe pas. On imaginait un septième réseau, placé en face des grandes compagnies, qui devait, pour avoir une vie propre, des éléments suffisants d'existence, se ramifier au loin, étendre, permettez-moi le mot, des tentacules de tous les côtés, de manière à atteindre, d'une part, le réseau de l'Ouest, d'autre part, celui de Lyon, et d'autres réseaux encore. Je n'admets pas une telle conception, qui peut être un expédient de combat, un moyen de résistance, mais qui n'a pas de caractère organique normal.

Il faut cependant sortir de la difficulté. Or nous n'avons d'issue ni par le monopole des grandes compagnies, dont le pays ne veut pas, ni par les petites compagnies, qui végètent, qui meurent et ne demandent qu'une chose, c'est qu'on les rachète.

Dans ces conditions, il semble qu'il faille examiner la question à un nouveau point de vue; qu'il faille, pour sortir de l'impasse, organiser ce qui ne l'est pas, et changer enfin radicalement de méthode.

On a vu, par une sorte de mouvement naturel, des éléments épars se condenser, ce qui était bien; mais ils se sont condensés sans ordre, sans principe régulateur. Ce qu'il faut aujourd'hui, c'est d'introduire dans le système un élément de classification et de différenciation. C'est là ce qui se produit dans toutes les circonstances où des éléments s'organisent. Après une phase d'indétermination, où toutes les fonctions sont mêlées, ces fonctions se localisent et des organes distincts se mettent en rapport avec elles. L'état de confusion cesse. Bientôt à chaque fonction spéciale correspondent des organes spéciaux.

C'est là, comme je l'ai montré, ce que font les compagnies elles-mêmes toutes les fois qu'elles le peuvent. C'est là ce que j'ai voulu atteindre et généraliser par le système que j'ai conçu, et que mon but principal est de vous exposer. Il ne faut pas, d'ailleurs, dans les questions de ce genre, donner aux mots une portée trop absolue.

Quoique je considère comme rigoureusement exact qu'il convient toujours de proportionner l'outil à la fonction, cela n'est pas strictement possible dans un système comme celui des voies ferrées. Il faut se contenter d'une chose, et c'est déjà beaucoup, c'est de faire que la circulation générale du pays se trouve desservie par deux ordres de lignes, les unes appliquées au groupe des gros trafics, les autres au groupe des faibles trafics. Je ne veux en rien toucher à l'unité absolue de circulation sur le territoire. Largeur de voies, force des rails, cela doit être rigoureusement le même; cela est essentiel pour l'unité du pays. Mais ce qu'il faut, sans toucher à cette unité, en s'y assujettissant même plus étroitement qu'on ne le fait aujourd'hui, c'est de constituer deux réseaux différents, ayant des propriétés, des caractères, des aptitudes bien distinctes, et d'abord d'établir qu'il sera formé, avec les lignes principales, un grand *réseau national.*

La carte que vous avez sous les yeux montre, par les lignes mises en saillie par de larges traits, comment je voudrais former ce réseau. Ce n'est pas qu'il faille considérer les tracés de cette carte comme exprimant des dispositions absolues qu'on ne puisse modifier. Si l'idée sur laquelle je m'appuie était reconnue juste, si le principe nouveau introduit dans l'organisation des voies ferrées était pris en considération, et qu'il s'agît de résoudre la question d'espèce, c'est-à-dire prendre en bloc la circulation française et dire de quelles lignes doit se composer le réseau national, il pourrait arriver que ce réseau ne comprît pas quelques-unes des lignes que j'y ai fait figurer, et qu'à ces lignes, au contraire, on en substituât d'autres. Je n'ai voulu donner qu'un spécimen. Cependant, tel qu'il est représenté, le réseau national tracé répondrait aux grands besoins du commerce, desservirait les principaux courants de trafic.

A côté de la carte du réseau national et des réseaux régionaux compris dans les mailles de celui-ci, considérez l'autre carte exposée [1]. Sur cette carte, on a représenté, avec des largeurs proportionnelles, l'importance des produits bruts de chaque ligne, et cela en raison d'un millimètre par 10,000 francs, de sorte que cette ligne, par exemple, qui a une largeur de 2 centimètres environ, porte un trafic kilométrique de 200,000 francs. Eh bien! vous ne trouverez pas, entre les artères à grand trafic représentées sur la carte statistique, et le réseau national représenté sur l'autre,

[1] La carte qu'indique ici l'orateur est la carte statistique, dressée par l'administration des travaux publics, où le produit brut des diverses lignes des six grands réseaux est graphiquement figuré par des largeurs proportionnelles.

de différences très accusées, si ce n'est en ce point que les lignes de mon réseau répondent mieux aux nécessités du transit, et peut-être aussi aux nécessités stratégiques, sur lesquelles je n'ai pas à m'étendre, auxquelles on tend à donner parfois trop d'importance, mais qui cependant en ont une considérable.

Ainsi donc, il n'y a dans ma pensée et ne peut y avoir aucune idée de présenter le réseau national ici dessiné comme une solution d'espèce, mais seulement, je le répète, comme un spécimen du système à organiser. Si vous le prenez ainsi, vous y voyez un lacis de lignes ayant entre elles une connexion parfaite, lignes qui pourraient être exploitées d'un seul tenant, par des services de même nature, puissamment organisés, à grandes allures, à trains rapides, desservant les circulations principales et les grands centres. Puis, à côté de ces artères, vous voyez des lignes plus faibles indiquant les voies secondaires, moins importantes au point de vue de l'administration, du commerce et de l'industrie, moins importantes aussi au point de vue des nécessités stratégiques dont j'ai parlé tout à l'heure.

Le réseau national établi, les diverses régions de la France comprises dans leurs mailles posséderaient chacune, pour son service local intérieur, un réseau spécial, qui serait desservi par des moyens réglés d'après l'importance moindre du trafic et la destination secondaire des lignes qui le forment. Alors, en même temps que le réseau national serait exploité par des services organisés conformément à la grande formule, à la formule des gros trafics, les réseaux régionaux verraient leur exploitation régie par la formule modeste que j'ai mise en seconde ligne, et seraient ainsi actionnés dans des conditions beaucoup plus économiques.

Mais ce n'est pas tout. Ces derniers réseaux ne sont pas complets. Je ne dirai pas que le réseau national le soit, mais, s'il ne l'est pas, il y manque peu de chose. Les réseaux régionaux, au contraire, sont à terminer. Il reste encore à construire un minimum de 7,000 ou 8,000 kilomètres de lignes à ajouter à ce qui est concédé déjà; et ceci, c'est l'avenir prochain, c'est presque le présent. Il y a donc encore bien des lignes nouvelles à tracer et à construire. Or, il importe, pour ne pas sortir de la vérité technique et économique, que ces lignes, suivant les régions dans lesquelles elles seront situées, soient tracées en vue d'une exploitation déterminée, correspondant à une organisation homogène, et dans des conditions en rapport avec la région à laquelle elles appartiennent.

Prenez, par exemple, le réseau situé dans le trapèze qui, compris entre la mer et la ligne de Tours à Bordeaux, commence à la Loire et s'étend jusqu'à la Gironde. C'est là la région des Charentes, qui réunit des conditions d'établissement faciles pour des lignes ferrées; c'est une région de plaines. Là, les lignes nouvelles à créer devraient être établies, dût-on dépenser un peu plus, dans le même système de tracés que les lignes déjà

existantes, de façon qu'on pût organiser là une exploitation n'ayant devant elle que des lignes à pentes faibles et uniformes.

Transportons-nous, au contraire, dans la maille du réseau national comprise entre Limoges et Clermont, Bourges et Aurillac. Nous sommes là dans une région montagneuse, en présence de terrains fortement accidentés. Dans ce polygone, si vous vouliez construire des lignes assujetties aux mêmes conditions que celles de la région des Charentes, vous dépenseriez 400,000 ou 500,000 francs le kilomètre. Mais nous nous trouvons ici dans une situation différente. Les lignes à établir desservent une région industriellement peu favorisée; nous avons de faibles trafics; il faut dépenser le moins possible, et, pour cela, faire des lignes à fortes pentes, qui ne coûteront pas notablement plus que celles à faibles pentes de la région de plaines. Ces pentes plus fortes entraîneront un peu plus de frais de traction, mais, au total, on aura fait une bonne opération, quelque chose de rationnel et de pratique.

Et, notez-le, la disposition que je préconise est la seule qui permette d'approprier ainsi, dans chaque cas, par une saine différenciation, l'outil à la fonction, la puissance de la machine à l'importance du travail à faire. C'est là une conséquence capitale; — pour moi, la justification essentielle du mode d'organisation préconisé.

Après avoir distribué les lignes ferrées en réseaux de deux ordres, comment ces réseaux seraient-ils exploités? C'est là un point sur lequel il faut aussi s'expliquer.

J'ai déjà déclaré que je ne comprenais pas que si l'on arrivait à constituer un réseau national, on pût songer à en confier la gestion à l'industrie privée. Ce serait une grave imprévoyance.

A mon sens, le réseau national est la chose du pays; c'est l'État qui doit en rester maître. A tous les points de vue, commercial, industriel, stratégique, politique, administratif, l'État ne peut pas livrer ce réseau à des intérêts en dehors de ceux de la nation tout entière. Je ne suis pas plus qu'il ne convient partisan de l'intervention de l'État dans les choses industrielles, et ici, par un côté important, nous sommes en présence d'une question industrielle. Mais une autre considération domine dans le cas où nous sommes. On ne peut livrer à l'administration de tiers ce qui est par essence le patrimoine de tous, ce qui doit fonctionner, non pour quelques-uns, mais pour l'utilité commune, et dont il serait, d'autre part, si facile à la spéculation privée de se faire une arme contre l'intérêt public. Pour moi, donc, le réseau national ne doit pas sortir des mains de l'État.

Maintenant, imagine-t-on pour cela que ce réseau, appelé par l'importance de son trafic à être extrêmement productif, doive être administré directement par l'État, ou, en d'autres termes, régi, comme on l'a dit quelquefois, par des fonctionnaires irresponsables? Cela n'est nulle-

ment nécessaire. Ce qu'il faut, c'est que le réseau placé dans les mains de l'État soit administré à ses comptes et risques.

De même que l'État ne se départ pas de son droit, de sa puissance souveraine, lorsque, ayant à faire un travail déterminé, il en confie l'exécution à un entrepreneur, l'État ne se départirait pas davantage de son action directrice sur le réseau national, de son droit de propriétaire, en confiant l'opération du voiturage, mais du voiturage seulement, à des compagnies spéciales, — à des entreprises de traction, qui l'exploiteraient pour lui, sous sa direction, sous son contrôle, à son compte et à ses risques.

Le réseau national doit être, pour le pays, le grand régulateur des transports : ce que j'appellerai le grand niveau de la circulation. Il devrait, par suite, aujourd'hui que le trafic des lignes qui le composent est complètement développé, être administré en dehors de préoccupations commerciales proprement dites: il devrait être exploité comme un grand service d'utilité nationale, avec des tarifs fixes, réglés chaque année par la loi des finances, comme sont réglés les impôts. Ces points posés, c'est seulement l'opération industrielle proprement dite, celle qui consiste à faire le meilleur service possible, à donner au public le voiturage le plus commode et le plus sûr sur ces voies appartenant à l'État; — c'est cette opération industrielle seule qui serait confiée à l'industrie privée, dans le domaine naturel de qui elle rentre. On aurait, pour cela, ce que j'appellerai plus volontiers, quoique les mots ne fassent rien à la chose, des entreprises d'exploitation que des compagnies fermières, car il existe à ce sujet une équivoque dans laquelle je ne veux pas tomber. Par compagnies fermières, quelques personnes entendent des agences d'exploitation, qui ne seraient pas autre chose que les compagnies actuelles, si on leur laissait la liberté de se mouvoir dans des tarifs dont le taux maximum serait seul déterminé. Ce système, je le repousse pour le réseau national. Ce que je veux pour ce réseau, ce sont des agences ne pouvant percevoir que d'après des tarifs absolument fixes, et n'ayant qu'une mission : celle de donner au public, conformément aux clauses d'un cahier des charges rigoureusement déterminé, et sous l'empire d'une responsabilité sérieuse, de lui donner, disons-nous, tant pour les voyageurs que pour les marchandises, une exploitation aussi bonne, aussi bien faite que possible.

Une telle situation serait parfaitement normale. L'État et l'industrie privée se trouveraient là, chaque partie à sa place, dans sa sphère propre, avec sa responsabilité spéciale. Et nous aurions ainsi un puissant réseau d'État que les pouvoirs publics pourraient régir, en ce qui concerne le niveau des tarifs, de façon à résister autant qu'il serait nécessaire à la concurrence qui tend à nous enlever la part de grande circulation continentale qui a jusqu'à ce jour emprunté les voies du territoire français. On pour-

rait, par des abaissements de tarifs, faire que ce trafic nous restât. En un mot, les pouvoirs publics, éclairés sur cette question technique et industrielle comme ils le sont pour toutes celles qu'ils ont à résoudre, dirigeraient la gestion du réseau national, et il y aurait des intermédiaires pour l'accomplir, sous la surveillance des agents de l'État, au mieux de l'intérêt public. (Très-bien! très-bien! et applaudissements.)

Messieurs, nous venons de dire que le réseau national restera placé dans les mains de l'État. Mais il viendra une heure où, par le mouvement naturel des choses, tous les chemins de fer créés sur le territoire français seront aussi dans la main de l'État; — car vous savez que si l'État a aliéné temporairement la gestion et le rendement des chemins de fer, il n'en a jamais aliéné la propriété. Les chemins de fer reviendront donc un jour aux mains de l'État; et la question qui se pose pour les uns se posera pour tous. Nous savons comment doit être géré le réseau national, mais les réseaux régionaux comment doivent-ils l'être? Doivent-ils être administrés de la même façon, dans les mêmes termes que le réseau national? Je ne sais ce que l'avenir pourra dire à ce sujet; j'ignore ce qui se fera; mais, pour le moment, cela dût-il paraître une sorte de contradiction avec ce que j'ai dit pour le réseau national, si j'avais à me prononcer sur la question, je n'hésiterais pas à confier les réseaux régionaux à l'industrie privée, dans des conditions que je vais dire, pour être complétés et administrés pendant un certain temps par elle. J'aurais pour cela deux motifs. Je voudrais résoudre pour le mieux ce double problème : que les lignes qui manquent encore fussent construites le plus rationnellement possible, sous l'empire du sentiment industriel et non de considérations administratives; et que l'exploitation de chaque réseau fût dirigée en vue d'un résultat extrêmement important, celui qui consiste à développer, pour des lignes nouvelles, tout le trafic qu'elles comportent. Ce sont là deux opérations très délicates, qui paraissent difficilement pouvoir être bien conçues par l'État et bien conduites par ses agents. Je vais revenir tout à l'heure sur ce point, qui est essentiel. Mais, pour mon compte, autant je suis formellement d'avis que le réseau national, rentré aux mains de l'État, n'en doit plus sortir, doit être géré par lui, autant je maintiens que les réseaux régionaux, au contraire, peuvent être, pour un temps, placés en dehors de l'action directe de l'État, pour être gérés par l'industrie privée, libre et responsable, à laquelle ils offriraient un champ d'activité dont elle a bien besoin pour se réveiller. Se réveiller... le mot n'est peut-être pas juste, car elle est plus qu'endormie, elle est presque morte, — les conventions de 1858-1859 l'ont à peu près anéantie, mais enfin peut-être renaîtrait-elle, si l'on arrivait à créer pour elle un milieu plus favorablement disposé.

Maintenant, à ce sujet, une autre question se pose.

Ces réseaux régionaux, dont j'imagine que l'État recouvrera la libre disposition, dans quelles conditions seraient-ils confiés de nouveau à l'industrie particulière? Prenons une des régions du territoire, celle des Charentes par exemple, dont nous avons déjà parlé. Il y a là des lignes construites; ces lignes sont exploitées; elles rapportent une certaine somme; voilà une première donnée. Mais il y a à compléter le réseau. J'admets toujours, vous savez, que chacun des réseaux régionaux est parfaitement continu, que chacun d'eux se développe dans une circonscription complètement limitée, comme il se développerait dans une île. La direction des lignes à ouvrir étant déterminée, nous ferons, ce qu'on établit toujours, l'évaluation du prix de revient de ces lignes et de ce qu'elles peuvent rapporter. Cet ensemble d'éléments connus, on dirait à l'industrie privée : — « Voici la situation; je vous remets des lignes construites, qui rapportent tant; vous avez la charge des lignes restant à construire; vous exploiterez le tout et percevrez les produits d'après des tarifs maximum déterminés. » — Je n'examine pas ici quels seraient ces tarifs, mais comme il s'agit d'une opération nouvelle, on n'aurait pas à prendre les tarifs actuels des compagnies; on en fixerait les limites comme on voudrait et autrement qu'aujourd'hui, en profitant de l'expérience acquise.

Dans ces conditions, l'État ajouterait : — « J'ai fait mes calculs; en voici tous les éléments; vous pouvez les vérifier. Vous avez tant à dépenser pour terminer le réseau; le réseau vous rendra une somme déterminée, et quand je dis : vous dépenserez tant, je compte non seulement les sommes à fixer en travaux et fournitures, mais l'intérêt des capitaux qui doivent intervenir. Eh bien! le résultat de mon calcul, c'est que le réseau que je vous offre doit rapporter annuellement, par exemple, 2 ou 3 millions de plus que l'intérêt et que l'amortissement des capitaux engagés. Vous me devriez, en conséquence, une redevance de 2 ou 3 millions, et pour que les choses se passent d'une façon régulière, chacun des réseaux soumis à un calcul analogue sera l'objet d'une adjudication publique. »

Cela ne diffère pas, dans la forme, de ce qu'on a toujours fait pour la mise en adjudication d'une ligne déterminée; mais, pour un réseau entier ayant déjà une partie de ses lignes en service, on posséderait une base d'appréciations et de calculs bien autrement solide que celle qu'on a eue jusqu'à ce jour pour déterminer la situation probable d'une ligne à créer. Vous savez ce qui s'est plusieurs fois produit à ce sujet, vous connaissez les plaintes que les compagnies secondaires ont fait entendre. Ces plaintes sont celles-ci : nous avons, disent-elles, établi des lignes dont l'Administration avait elle-même évalué le produit. C'était, d'après ses ingénieurs, une moyenne que nous devions facilement atteindre. Or, nous avons été déçus. Les lignes n'ont pas rendu ce sur quoi nous comptions.

Cela est exact, ces plaintes sont fondées, mais quelle en est la raison?

L'explication est toute naturelle. Revenons au réseau des Charentes. Voilà le chemin de fer d'Orléans qui, non seulement l'entoure, mais le coupe dans plusieurs parties. Qu'a fait la compagnie d'Orléans? Dans le sens de ces lignes qui lui appartiennent, elle a profondément drainé le terrain en abaissant ses tarifs. Alors le trafic naturel du territoire desservi, que je comparerai à l'eau des pluies tombant sur le sol, ce trafic que la compagnie des Charentes avait calculé devoir s'écouler suivant la direction des lignes créées par elle, s'est précipité, sous l'influence du drainage effectué par l'Orléans, dans les vallées factices creusées par cette compagnie, et il n'en est plus rien resté sur les plateaux secs et dénudés où se sont épuisés les efforts des Charentes sans y trouver des éléments de recette suffisants. La situation serait tout autre pour des réseaux non traversés, en général, et seulement circonscrits par des lignes dont les tarifs seraient fixes. Nous n'aurions plus là de ces drainages artificiels que les grandes compagnies peuvent effectuer. Nous serions en présence d'un niveau régulier pouvant légèrement varier, sans doute, car l'État ne s'assujettirait jamais à laisser les tarifs du réseau national à un taux absolument fixe. Mais ces variations seraient lentes et continues, et n'auraient rien de commun avec ces abaissements brusques et excessifs auxquels la haine de toute concurrence pousse les grandes compagnies. Dans ces conditions nouvelles, rien ne serait plus simple, plus élémentaire, plus facile à réaliser avec une grande précision, que d'apprécier dans son ensemble la situation vraie de chacun des réseaux régionaux. Cette situation pourrait être chiffrée par doit et avoir, de la façon la plus certaine, sans conserver autre chose que ce degré d'*alea* nécessaire pour exciter l'esprit d'entreprise. En présence d'opérations offrant des éléments d'appréciation sérieux, des bases suffisamment fixes, l'initiative individuelle réveillée viendrait prêter à l'État son concours. Celui-ci resterait dans son domaine, l'action industrielle dans le sien. Tout serait au mieux.

Et qu'on ne me fasse pas une objection; qu'on ne dise pas : Mais livrer les réseaux régionaux à l'exploitation privée, n'est-ce pas refaire, avec tous leurs abus, les grandes compagnies dont nous ne voulons pas? Il y a plusieurs motifs pour écarter cette crainte. Le champ d'action des réseaux régionaux est plus restreint que celui des grandes compagnies actuelles. Chaque réseau régional exploite seul, sans doute, l'intérieur du polygone qui forme son domaine. Mais, pour les principaux points du périmètre, le réseau national qui l'enveloppe l'empêche d'abuser de cette situation. En second lieu, les concessions seront plus courtes. De plus, la pratique a parlé. Dans les nouveaux cahiers des charges, ce ne sont pas seulement les tarifs qui seraient réduits; il serait mis obstacle aux procédés abusifs des grandes compagnies. Les réseaux régionaux, par un bon service, en attirant les marchandises par le bas prix, auraient tout intérêt à développer

leur trafic spécial. Ces prix deviendraient-ils aussi faibles que ceux du réseau national? Ce n'est pas probable. Mais, remarquons-le : pour tout ce qui vient de loin, et c'est là l'important, l'intervention du réseau régional ne s'applique qu'à une faible fraction du parcours total. Qu'importe, dès lors, que ce réseau grève de quelques millimes de plus ce qu'il transporte. Le réseau national c'est le grand niveau. L'action propre des réseaux régionaux ne peut produire à la surface que des rides insignifiantes.

En résumé, Messieurs, je le crois fermement, les dispositions proposées organiseraient fortement la viabilité ferrée sur chaque point du territoire, sans présenter les inconvénients et les dangers du monopole. Elles laisseraient subsister la concurrence dans ce qu'elle a de fécond, et auraient transitoirement pour effet de donner vie et force à l'initiative privée acculée par l'Empire dans des combinaisons sans issue où elle s'est compromise et presque anéantie. (Applaudissements.)

Telle est, dans son ensemble, la combinaison organique que je préconise. Maintenant, on peut me dire : Si nous étions dans un pays vierge, s'il s'agissait de doter de réseaux ferrés quelque grande île inexplorée de l'Océan, ce serait fort bien; nous pourrions faire immédiatement ce que vous conseillez. Mais ici la question est fort engagée; nous sommes en présence d'un état de choses étroitement déterminé par des faits et des contrats. Comment réaliser votre projet? Je dois en convenir, Messieurs, à moins que les grandes compagnies ne s'y prêtent, ce qui n'est pas probable, ce serait impossible à réaliser sans aborder résolument la question du rachat général des voies ferrées.

Cette idée, je le sais, ne sonne pas agréablement à toutes les oreilles; elle est tenue pour une opération difficile, qui pourrait être compromettante pour les finances publiques. Elle suscite enfin beaucoup d'appréhensions. Mais je crois que si l'on était arrivé à comprendre qu'après le rachat, qui ne peut être qu'un moyen, non un but, il y a un système organique tout prêt, un système organique jouissant des heureuses propriétés que je lui attribue et sur lesquelles j'appelle une discussion approfondie; si l'on était sûr, dis-je, que de l'état de choses actuel dont chacun se plaint on peut passer à un état nouveau qui donnerait au pays des avantages considérables, alors le rachat cesserait d'être un objet d'effroi. Il en est d'ailleurs des craintes soulevées par le rachat comme de tous les fantômes. Marchez résolument vers eux, et ils disparaissent.

Il est déjà tard, je regarde ma montre et je vois que j'ai pris beaucoup plus de temps qu'il ne m'en était attribué. Aussi n'entrerai-je pas dans les questions de chiffres qui seraient longues et difficiles à développer. Il y a cependant un mot que je veux déposer, avant de terminer, dans l'esprit de la réunion.

Comment se passent les choses aujourd'hui? Je parle seulement des

grandes compagnies. Il n'y a d'ailleurs pas grand'chose en dehors d'elles. Quelle est leur situation financière et le résultat de leur gestion? Les grandes compagnies exploitent, comme je vous l'ai dit, très-chèrement. Il est possible, facile, selon moi, d'exploiter moins chèrement, moyennant une organisation convenable. Quoi qu'il en soit, c'est au moyen du produit net qui leur reste qu'elles satisfont à leurs engagements. Ces engagements, quels sont-ils? Elles ont d'abord leurs actionnaires, dont les actions jouissent d'un certain revenu réservé; elles ont ensuite les emprunts qu'elles ont réalisés sous leur propre responsabilité, et qui ont été employés à la construction de leur ancien réseau, emprunts pour lesquels elles payent un certain intérêt; puis enfin il y a la grande catégorie des obligations du nouveau réseau, lesquelles, comme vous le savez, sont garanties par l'État, à un taux insuffisant, il est vrai, mais que l'on a complété, — dans les calculs faits pour déterminer ce qu'on a appelé le *déversoir,* c'est-à-dire la somme réservée et garantie pour chaque kilomètre, — en faisant entrer en ligne de compte ce que les compagnies doivent ajouter au quantum garanti par l'État pour parfaire le service d'intérêt et d'amortissement des obligations nouvelles. Voilà l'ensemble des charges que les compagnies ont à supporter: charge pour les actions, charges pour les obligations de l'ancien et du nouveau réseau. Elles font masse de leurs recettes, et puis, quand il y a un déficit, c'est l'État qui arrive et qui comble la différence. Voilà exactement la situation.

Eh bien! le rachat n'est pas d'abord une opération illégale; c'est une opération prévue par les cahiers des charges. Les conditions en sont déterminées. Il ne s'agit pas le moins du monde de contracter d'énormes emprunts, pour rembourser en capital aux compagnies la valeur de ce qu'elles détiennent; on ne leur doit, dans aucun cas, que des annuités. On doit payer aux grandes compagnies, pour le rachat, pendant le temps restant à courir jusqu'à l'expiration des concessions, une annuité calculée d'après le revenu net des sept années antérieures, moyennant certaines circonstances spéciales que je ne développe pas ici. Si nous supposons que l'on rachète dans ces conditions; que l'État, garant des obligations du nouveau réseau, conserve la charge de cette garantie, en prenant à son compte, bien entendu, dans le calcul de l'annuité, la part pour laquelle les compagnies y contribuent, quelle sera la situation de l'État? S'il obtient par l'exploitation des chemins de fer existants, de quelque façon qu'ils soient distribués, un rendement net équivalent à celui que les compagnies en tirent aujourd'hui, il sera absolument dans la même situation financière que celle qu'il a maintenant; c'est-à-dire qu'il y aura, dans le rendement net général, certains déficit auxquels il devra pourvoir. Mais si, comme je le suppose, moyennant une organisation convenable, on pouvait faire rendre à l'ensemble des chemins de fer exploités

aujourd'hui, soit qu'ils fussent classés dans le réseau national, soit qu'ils fissent partie des réseaux régionaux, plus qu'ils ne rendent à présent; si l'exploitation, très coûteuse, comme je l'ai démontré, arrivait à pouvoir se faire à un chiffre beaucoup plus bas, — et il n'est pas douteux qu'on puisse y arriver, — la situation de l'État serait meilleure qu'elle ne l'est aujourd'hui. Il aurait les mêmes charges que les compagnies et plus de recettes qu'elles. C'est là qu'est toute la question. Il suffit que ce point soit établi pour que l'opération du rachat paraisse la plus simple et la plus fructueuse du monde. Si elle était faite, l'État redevenu le maître, ayant organisé la viabilité ferrée comme je vous l'ai indiqué, ayant mis le pays à l'abri des griffes du monopole et évité les inconvénients de l'exploitation d'État proprement dite, faite par des agents irresponsables, bénéficierait alors de cette ascension continue des recettes qui est un fait normal et qui serait d'autant plus rapide que toutes choses, au point de vue des transports intérieurs et internationaux, se trouveraient mieux organisées.

Je crois que le point capital est celui-ci : savoir si le système que je préconise a en sa faveur des considérations suffisamment fortes pour qu'il fût adopté, au cas où l'on serait pleinement libre de prendre ce parti. Si la discussion s'engage, et je l'appelle de tous mes vœux, elle sera longue et acharnée, je n'en doute pas. Mais enfin si l'on fait à mes idées, — ce que je n'espère pas dans un bref délai, — l'honneur de les discuter, et qu'on arrive à reconnaître qu'elles contiennent la solution normale et vraie de l'organisation rationnelle d'une viabilité ferrée bien conçue, alors la question de rachat cessera d'effrayer personne; elle sera pour tout le monde une opération sans danger, sans inconvénients, et féconde au contraire en avantages.

Je vous l'ai dit, Messieurs, il y a plusieurs circonstances dont je me préoccupe à propos de cette grave question de la réorganisation de nos chemins de fer. Je m'en préoccupe au point de vue industriel et commercial, je songe à la circulation intérieure du pays, mais je m'inquiète aussi de résister à la concurrence étrangère. Vous savez ce qui se passe autour de nous. L'Allemagne, l'Italie se coalisent, pour ainsi dire, pour détourner de la rive du Rhin sur laquelle nous sommes le trafic intereuropéen, qui va du Nord au Sud. Le Saint-Gothard se perce; il y a là un danger sérieux pour nous. Il faut y parer et il n'est pas trop tôt d'y songer. La France s'est laissé distancer. Il faut qu'elle regagne le terrain perdu. Si le système que je préconise a les avantages que je lui attribue, nous aurions bien vite repris notre rang.

Je m'arrête. Un mot cependant avant de finir.

Je n'ai guère jusqu'ici envisagé la question qu'au point de vue de l'usage pacifique des voies de transport. Le problème a une autre face. A ce sujet, un sentiment pénible oppresse mon esprit. Je ne puis m'empêcher,

en terminant, de le traduire par quelques paroles à la réunion qui me prête son attention sympathique.

Ne craignez rien. Ces paroles seront très mesurées. Elles ne s'écarteront pas de la réserve où je dois me maintenir dans cette enceinte :

On dirait, Messieurs, que nous traversons, à cette heure, un de ces coupe-gorge de l'histoire, où l'on se partage les peuples comme des troupeaux. Pardonnez-moi mon émotion. Je crois voir des ombres sinistres monter à l'horizon. Il semble que le flambeau du droit et de la justice est menacé d'une éclipse en Europe. Je ne puis m'empêcher de songer que la France, qui a toujours été la gardienne de ce flambeau, ne peut le laisser éteindre, et qu'il faut, à tous les points de vue, aujourd'hui plus que jamais, qu'elle soit forte, énergique et puissamment armée pour sa défense. (Applaudissements.)

M. Hervé-Mangon, *président*. Messieurs, je serai l'interprète de la réunion tout entière en remerciant, en votre nom, M. Vauthier, des utiles enseignements qu'il vient de nous donner. Je ne saurais affirmer que ses idées seront acceptées sans discussions et sans difficultés, mais nous devons le remercier d'avoir posé hardiment les graves et difficiles questions que soulèvent la construction et l'exploitation des chemins de fer. Les améliorations à réaliser sont incontestables, immenses; il faut s'en occuper sérieusement et avec persévérance.

Les problèmes posés devant nous sont des plus ardus, car ils touchent aux intérêts privés les plus tenaces, et aux intérêts publics les plus graves et les plus élevés. Dans un pays libre, la parole appartient à tous ceux qui aiment et qui cherchent le progrès; c'est pourquoi le Gouvernement de la République a voulu faire de ce palais du Trocadéro la grande tribune des arts et de la science. Notre ancien et excellent ami, M. Vauthier, aura l'honneur d'avoir été des premiers à comprendre l'utilité de cette institution nouvelle. L'avenir recueillera le fruit des travaux et des réflexions qu'il vient d'exposer dans cette enceinte. (Applaudissements.)

La séance est levée à 4 heures 20 minutes.

CONFÉRENCE
SUR
LES CHEMINS DE FER SUR ROUTES,

PAR M. ERNEST CHABRIER,

INGÉNIEUR CIVIL, PRÉSIDENT DE LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER À VOIE ÉTROITE DE LA MEUSE.

BUREAU DE LA CONFÉRENCE.

Président :

M. de Mahy, député de la Réunion, questeur de la Chambre des députés;

Assesseurs :

MM. Bourdais, architecte du Trocadéro;

Gottschalk, ingénieur, directeur du matériel des chemins de fer du Sud-Autriche;

Richard, ancien président de la Société des ingénieurs civils.

La séance est ouverte à 2 heures.

M. de Mahy, *président.* Mesdames et Messieurs, la présidence de cette réunion n'était pas destinée à celui qui a l'honneur de vous adresser en ce moment quelques paroles; elle appartenait en quelque sorte de plein droit au président de l'association pour l'amélioration des transports, mon honorable collègue à la Chambre des députés, M. Lebaudy, l'un des hommes de France qui se sont occupés avec le plus de dévouement, et, il faut le reconnaître aussi, avec le plus de talent et d'efficacité, de la vaste question dont un point spécial sera tout à l'heure traité devant vous par un orateur compétent, M. Ernest Chabrier.

En l'absence de M. Lebaudy, retenu par une indisposition qui, nous l'espérons et nous en faisons le vœu, n'aura pas de gravité, la présidence n'aurait pas dû me revenir. Il y a autour de moi des hommes qui, à plus juste titre, auraient dû occuper ce fauteuil qu'on a bien voulu m'offrir; je ne l'ai accepté que comme une attention adressée, non pas à ma personne,

mais à ma qualité de collègue de M. Lebaudy à la Chambre des députés. Et afin de mériter l'honneur qui m'a été fait, je commencerai par me conformer à ce que je considère comme mon premier devoir, qui est d'aller au-devant du désir de l'auditoire, en me hâtant de donner la parole à M. Ernest Chabrier. Je n'ai pas besoin de solliciter pour lui votre plus attentive bienveillance; il la mérite par sa compétence et par les travaux distingués qu'il a publiés. Et en sortant d'ici, Mesdames et Messieurs, je dis « Mesdames » aussi, car il est bon que tout le monde s'occupe des affaires publiques, même des questions économiques en apparence les plus arides; j'espère que chacun d'entre vous deviendra en sortant d'ici le collaborateur de M. Chabrier, en l'aidant à vulgariser les idées qu'il va émettre et développer devant vous sur les chemins de fer à voie étroite. (Très-bien! très-bien! Vifs applaudissements.)

La parole est à M. Ernest Chabrier.

M. Ernest Chabrier. Permettez-moi d'abord, Messieurs, de remercier notre honorable président de ce qu'il vous a dit de trop favorable sur moi et sur mes efforts pour faire prévaloir les idées que je vais vous exposer; ces efforts ont été grands et persévérants, mais les résultats viennent bien lentement.

Je veux aussi joindre mes plus vifs regrets à ceux qui ont été exprimés pour la cause qui nous prive de la présence de M. Lebaudy; j'aurais été heureux de lui dire ici publiquement ma profonde reconnaissance pour l'empressement avec lequel il avait accepté de m'assister de sa grande autorité dans l'étude des moyens de transport.

Vous n'accepterez pas, Messieurs, l'incompétence de M. de Mahy; chacun sait avec quel soin il suit les travaux parlementaires, et la question des transports n'est certainement pas restée indifférente pour lui. Vous voudrez bien vous joindre à moi pour le remercier d'avoir bien voulu accepter, au dernier moment, de prendre la présidence de cette séance.

Enfin, Messieurs, je suis vraiment touché et aussi un peu inquiet d'un aussi nombreux auditoire; j'en reporte le mérite à l'intérêt que vous inspire la question des petits chemins de fer, et je constate cet intérêt avec une bien vive satisfaction.

J'ai beaucoup hésité, Messieurs, à traiter dans une conférence publique cette question de chemins de fer, qui touche tout le monde, mais dont les procédés n'intéressent guère que ceux qui sont chargés de les mettre en œuvre.

Je crains de ne pas être bien intéressant, et je réclame toute votre indulgence pour quelques considérations que je voudrais vous présenter au

sujet des petits chemins de fer que l'on propose de placer, autant que possible, sur les accotements de nos routes et chemins, pour desservir les très petits trafics.

I.

LES PRÉOCCUPATIONS DES FONDATEURS DES CHEMINS DE FER.

Sans remonter à l'origine de cette grande création des chemins de fer qui a révolutionné la vie humaine, on peut le dire, je voudrais rappeler les préoccupations de ceux qui, il y a trente ans à peine, ont établi les premiers services et imaginé les dispositions auxquelles on n'a presque rien changé depuis.

Permettez-moi de rappeler parmi ces promoteurs MM. Flachat, Clapeyron, Petiet, Lechatelier, avec lesquels j'ai eu l'honneur de travailler, et à côté d'eux, MM. Émile et Isaac Pereire, auxquels il faut reconnaître la véritable action initiale dans cette grande œuvre, car ils ont su entraîner les capitalistes à fournir les sommes considérables qui étaient nécessaires. Il fallait de l'énergie et une grande confiance pour travailler avec cette ardeur à une question si neuve : on était sans cesse menacé de voir se produire d'autres procédés qui mettraient à néant et les efforts et l'argent dépensé.

Cette préoccupation des fondateurs de nos chemins de fer était, Messieurs, de réunir assez de voyageurs ou de marchandises pour former des *trains complets,* c'est-à-dire donnant la pleine charge de la locomotive, cet admirable engin sorti si complet des mains de ses premiers constructeurs.

La vapeur était alors considérée comme un agent puissant, qu'il fallait employer en utilisant toute la force qu'il peut développer, et l'on cherchait à faire la machine à vapeur aussi forte que possible.

C'est à cette préoccupation d'avoir des trains complets que nous avons dû la création de ces immenses gares de marchandises et le si regrettable délai de transport, qui a remplacé le train facultatif bien plus rationnel.

Le dépôt en gare, qui était l'exception à l'origine, est devenu la règle, et ces gares ont pris les proportions d'énormes magasins, qui ont été obligés de sortir de l'enceinte des villes.

Pour le délai de transport, alors que 48 heures suffisent pour parcourir la distance entre les deux points les plus éloignés de nos frontières, il permet aux exploitants de ne livrer les marchandises que 10 et 15 jours après la remise à la gare expéditrice. Ce droit exorbitant est aussi nuisible aux compagnies qu'au public; car, outre les magasins si coûteux qu'il nécessite, il décuple le matériel qui serait nécessaire si l'expédition suivait, comme en Angleterre, la livraison en gare.

Mais ce n'est pas là notre sujet; je devais cependant, en passant, signaler à votre attention cette tolérance, qui n'a eu d'autre cause dans le passé

que la préoccupation que l'on avait de faire le train complet, pour utiliser toute la force de la machine.

On a obtenu ces trains complets; mais ils étaient complets pour les petites machines qu'on employait alors; on a demandé aux ingénieurs de faire des machines plus fortes, puisqu'on avait de quoi les charger, et les avantages étaient tels qu'il n'y avait pas à se préoccuper de la dépense qui devait en résulter; la machine marchant à pleine charge était d'autant plus économique qu'elle était plus puissante.

La machine locomotive prend son point d'appui sur le rail par l'adhérence, et l'adhérence dépend de la charge que porte la roue; pour augmenter la puissance, il fallut augmenter cette charge, et, de 10 à 12 tonnes, le poids des locomotives est passé à 50 à 60 tonnes; le rail alors est devenu trop faible; on a augmenté son poids, et, de 25 à 30 kilogrammes le mètre courant qu'il était sur le chemin de fer de Saint-Germain, on est arrivé à 47 kilogrammes, adopté pour le rail de Paris-Lyon; le fer lui-même devint insuffisant, et, après avoir fait le bandage en acier, on a fait les rails en acier.

Ces transformations répondaient à des besoins; ces puissantes machines permirent d'accroître constamment la vitesse des trains de voyageurs et réduisirent tellement le prix du transport des marchandises, que les sociétés concessionnaires elles-mêmes opérèrent des réductions considérables sur les tarifs que leurs cahiers des charges leur permettaient d'appliquer. C'était la vraie manière d'abaisser les tarifs en augmentant le rendement de l'outil; ce ne sont ni les lois ni les règlements administratifs qui peuvent intervenir dans cette matière; ils fixent des minima, et sont obligés de les fixer larges, pour avoir des concessionnaires sérieux, acceptant les aléas de l'entreprise et pouvant tenir leurs engagements.

Le chemin de fer, tel qu'il a été établi lors de la construction de nos premières lignes, répondait donc admirablement aux services qu'on voulait lui faire rendre; l'outil était absolument proportionné au travail qu'il devait faire. C'était un puissant appareil de transport, auquel il était indispensable de donner beaucoup de travail.

II.

L'OUTIL DES PETITS TRANSPORTS.

Ces résultats coïncidèrent en France avec ce qu'on peut appeler la fièvre des chemins de fer qui suivit la fusion des lignes en cinq grands réseaux confiés chacun à une grande compagnie. Le Gouvernement avait fait accepter à ces compagnies bien des lignes douteuses; aussi, lorsqu'il voulut satisfaire les demandes qui se produisirent ultérieurement, refusèrent-elles d'engager des actionnaires dans des entreprises trop aléatoires. L'ouverture

de certaines lignes avait prouvé qu'il ne fallait pas compter sur les trains complets nécessaires pour utiliser l'outil de transport qu'on avait construit.

Pressé par les populations et leurs représentants, le Gouvernement chercha une combinaison pour faire accepter par les grandes compagnies des lignes sûrement improductives, dans les premières années du moins.

Il assura au capital consacré à leur construction un revenu annuel, et par une combinaison entre l'exploitation de ce nouveau réseau et celui de l'ancien, la charge de l'État devait être réduite par un déversoir de recettes, au delà d'un revenu fixe attribué aux anciennes actions; il y avait partage au delà de ce revenu fixe.

Cette combinaison, très-ingénieuse, très-habile, avait le grave inconvénient de livrer le Gouvernement aux demandes de toutes les personnalités pour lesquelles le chemin de fer était un grand moyen d'influence locale.

Cet inconvénient devint tel, que l'Administration dut se préoccuper de ne pas augmenter indéfiniment le montant des sommes à payer annuellement par le budget; les premières lignes ouvertes avaient donné des résultats inquiétants à cet égard. La loi sur les chemins de fer d'intérêt local n'eut pas d'autre but.

On était bien loin des conditions auxquelles avaient dû satisfaire les fondateurs de nos chemins de fer; les trains n'étaient jamais complets, les machines trop fortes, les rails trop lourds, le personnel trop nombreux, etc. etc.; c'était le même outil qu'on avait employé pour faire tant ces lignes, pour lesquelles l'État était obligé de donner sa garantie, que celles dont on avait renvoyé la concession aux assemblées départementales, parce que les unes ne devaient pas avoir assez de trafic pour payer leurs dépenses, et que les autres ne devaient avoir à servir qu'un trafic local, c'est-à-dire essentiellement restreint.

Je n'entends, Messieurs, jeter la responsabilité de ce fait si anormal sur personne; je le constate pour montrer combien il faut se défier des entraînements, car l'administration centrale elle-même n'a jamais signalé l'anomalie monstrueuse qu'il y avait à appliquer à ces trafics, que l'on savait d'avance être très-restreints, cet outil imaginé, conçu et exécuté pour faire un service très-chargé.

Ce n'est que bien indirectement, et pour ainsi dire sans prétendre faire des chemins de fer, que s'est produite l'idée de modifier cet outil, de réduire ses dimensions, lorsqu'on ne devait avoir que peu à lui faire faire.

Après la guerre, lorsque chacun cherchait les moyens de réparer nos affreux désastres, quelques ingénieurs attirés par l'importance toujours croissante de l'élément technique dans la pratique agricole, se trouvant réunis aux congrès annuels de la Société des agriculteurs de France, eurent à répondre à cette question :

Comment mettre les chemins de fer à la disposition des agriculteurs?

Les agriculteurs, en effet, ceux qui recueillent les produits de la terre, n'usent pas beaucoup des voies ferrées pour le déplacement de ces produits; ils portent encore péniblement, comme autrefois, quelques sacs à la ville voisine le jour du marché, et c'est le commerçant qui les fait arriver, par le chemin de fer, au lieu le plus favorable à la vente.

L'étude fut faite avec un soin qui prouvait tout l'intérêt de la question, par des hommes compétents, ingénieurs de l'État ou de l'industrie, présidés par M. Hervé Mangon, ingénieur en chef des ponts et chaussées. M. Lechatelier, inspecteur général des mines, l'un des ingénieurs qui avait le plus contribué à l'accroissement de la puissance des locomotives, accepta de faire un premier rapport indiquant les besoins à satisfaire; il voulut bien m'associer à ce travail, que j'eus l'honneur de lire en séance publique de la Société des agriculteurs de France, en février 1873.

L'année suivante, l'étude fut poursuivie et donna lieu à un second rapport, qui entra dans les détails des dispositions les plus propres à résoudre la question.

Permettez-moi de vous lire la définition qui était donnée, dans ce rapport, de l'outil proposé.

. . . .

Pour exprimer la pensée qui doit dominer dans l'établissement des chemins de fer à exploitation très-restreinte, il faudrait, pour ainsi dire, prendre la contre-partie de ce qu'on entend vulgairement par chemins de fer.

En effet, pour le voyageur, le chemin de fer c'est l'extrême rapidité des communications, c'est la marche à 50 ou 60 kilomètres par heure, c'est la place toujours assurée, sans se préoccuper de la faire retenir. . . Le chemin de fer économique, lui, marchera à la vitesse de nos anciennes malles-postes, sa longueur, toujours restreinte, ne donnant aucun intérêt à de grandes vitesses; il aura également plus de places qu'il ne sera nécessaire, mais il ne devra pas être tenu de faire ajouter un wagon pour quelques voyageurs, ce qui obligera à retenir les places les jours d'encombrement.

Pour les marchandises, le chemin de fer c'est le transport à 3 et 4 centimes par tonne et par kilomètre; on ne peut obtenir ce prix qu'en transportant à la fois de très-grandes quantités de marchandises au moyen de grosses machines, de gros rails pour les porter, de wagons de 10 et 15 tonnes; ces grandes quantités de marchandises ne s'obtiennent que par une accumulation dans les magasins des gares; les premiers colis livrés sont obligés d'attendre les derniers avant d'être expédiés, d'où cette tolérance si préjudiciable aux agriculteurs : les délais de transport bien supérieurs au temps nécessaire pour le parcours de la distance.

Le chemin de fer économique n'a pas de gare, pas de magasins, donc pas d'accumulation de marchandises. Il doit remplacer le roulage et rendra encore de grands services en prenant 20 et 25 centimes pour des transports qui coûtent deux et trois fois plus. Ses trains, toujours mixtes, emporteront la marchandise sitôt remise, et elle sera délivrée aussitôt arrivée; son matériel sera léger, pour permettre de prendre de faibles charges; s'il y avait encombrement, on multiplierait les trains.

L'opposition entre les deux systèmes ne s'arrête pas là : les chemins de fer existants mettent généralement en communication les grands centres populeux, qui tiennent en

réserve des approvisionnements de marchandises attendant l'occasion de se placer avantageusement et fournissant un élément presque régulier de transport; le chemin de fer économique ne reliera que des villages ou des usines, emportant les produits au fur et à mesure des réalisations; encombré dans certains moments, il marchera presque à vide dans d'autres.

L'établissement de la plus petite ligne entraîne d'un côté des enquêtes, des expropriations forcées, des travaux d'art, des bâtiments, des clôtures, des barrières; de l'autre, il suffira d'une simple concession de l'accotement de la route, par le conseil général, avec élargissement, s'il est nécessaire, et rectification si les pentes sont trop fortes.

L'opposition dans l'exploitation sera plus sensible encore :

Dans le chemin de fer tel qu'il existe, des trains de voyageurs, express et même grands-express, directs, poste, omnibus, mixtes, à marchandises, directs ou de stations; dans l'autre, le même train mixte, toujours la même vitesse; pas de gares ni de stations; aucune clôture, puisque le rail est sur la voie publique, qui doit rester accessible à tous les riverains; du reste, le train, n'allant pas plus vite qu'une voiture, peut s'arrêter devant un obstacle.

Pas plus de règlements absolus pour les départs et le parcours que dans les voitures publiques; pas de billet, recette faite en marche comme dans les omnibus et sur les bateaux; arrêt sur signal à un point quelconque de la ligne; garage à chaque croisement de chemin pour permettre le chargement à l'avance des wagons que la machine prendra en passant.

La machine ne partira pas à moitié chargée en prévision d'une forte rampe à monter pendant quelques cents mètres, elle prendra sa charge normale, et au pied de la rampe le train sera coupé et monté par parties; c'est l'opération du billage bien connu des rouliers.

Pour le personnel, autant que possible des agents intéressés au résultat à obtenir.

La direction de ces petits trafics devra être donnée à l'entreprise ou au moins en régie intéressée; leur administration serait, avec grand avantage, confiée à une réunion des plus forts clients, qui en appelleraient à un conseil des propriétaires du chemin, en cas de conflit avec l'entrepreneur.

Les bureaux de correspondance seront établis chez un commerçant du village; il recevra les colis de messageries, les demandes de wagons à laisser aux garages, fournira les renseignements et sera rétribué sur le chiffre des affaires.

Dans le train, deux agents seulement, le mécanicien et le conducteur chargé de la recette et de l'enregistrement. L'expéditeur fait lui-même son chargement, et s'il veut l'accompagner pour le décharger à l'arrivée, il pourra monter dans le wagon, comme il monte aujourd'hui sur son tombereau.

. . . .

D'autres rapports ont été faits les années suivantes; ils ont été publiés dans l'Annuaire de la Société des agriculteurs de France (années 1873, 1874, 1875, 1876).

Quelles autres préoccupations, Messieurs, que celles des auteurs de nos chemins de fer! On ne songe plus à utiliser toute la puissance que l'on peut donner à l'outil; on cherche à réduire la dépense assez, pour qu'en portant même peu à la fois, on porte encore à des conditions plus avantageuses que celles des moyens existants. Et pour cela on réduit les dimensions de l'outil, en les proportionnant au travail qu'il aura habituel-

lement à faire, sans tenir compte d'un développement bien éloigné de nous, et pour lequel on sera trop heureux de faire de nouvelles dépenses, s'il se présente jamais.

Étudié pour donner satisfaction aux intérêts agricoles, cet outil devait suffire au service de *l'intérêt local, si généralement agricole en France.* Ces petits chemins de fer, en effet, peuvent relier les stations à toutes les localités voisines; ils se prêtent bien mieux au service local que les grandes lignes, qui passent souvent à plusieurs kilomètres des lieux habités.

Malgré l'aridité d'une description de ce sujet, il me semble nécessaire de vous dire rapidement sur quels points ont porté les modifications proposées et les raisons qui les ont décidées.

Les accotements. — Il était bien rationnel de songer à utiliser ces surfaces de terrain qui bordent nos routes et chemins, sans servir ni à la circulation ni à la culture; un des bas côtés suffit au dépôt des matériaux, on a proposé de prendre l'autre pour en faire la plate-forme d'une voie ferrée. On évite ainsi de retirer d'autres surfaces à la culture; de plus, la route présente de grandes facilités pour les approvisionnements pendant la construction, et, par suite, permet d'activer les travaux; la surveillance y est faite par les services publics; on va plus directement au-devant de la marchandise, etc.

Les objections. — Les objections ont été énergiques, et la plus violente, la crainte d'accidents fréquents par la peur que la machine ferait aux chevaux, n'est tombée que par la démonstration faite dans les rues mêmes de Paris, où des locomotives circulent depuis plusieurs années. La gêne dans la traversée des villages n'est plus invoquée; là où l'application en est faite, les habitants réclameraient, si l'on parlait de leur enlever leurs rails; quant à la privation d'accès aux pièces de terre le long des routes, il a été facile de prouver qu'il serait toujours beaucoup plus tôt fait de clouer deux traverses le long des rails pour faire un passage à niveau provisoire, que de combler le fossé qui sépare la route de ces pièces.

Largeur de la voie. — La largeur uniforme de la voie a des partisans acharnés, et leur gros argument est le transbordement.

Cette grande crainte manifestée pour le transbordement est encore, Messieurs, un effet des préoccupations premières de l'installation des chemins de fer : on a rêvé la marchandise chargée à Gibraltar, et se rendant, sans transbordement, à Saint-Pétersbourg, et si ce n'avait été les inquiétudes de la politique qui ont décidé l'Espagne et la Russie à adopter des écartements de rails différents de ceux de l'Europe centrale, la voie uniforme existait dans toute l'Europe.

L'idée était séduisante certainement, mais nullement pratique, comme le prouvent les résultats; à l'exception de quelques marchandises en vrac

qui, sauf la houille et les minerais, ne parcourent pas de longues distances, le transbordement est la règle, non pas seulement d'État à État, non pas de réseau à réseau, mais sur le même réseau on transborde 80 pour 100 des marchandises aux embranchements!

Voilà pour le transbordement.

Mais le changement de largeur de la voie est, en outre, moralement une condition de grande économie. Quelle que soit la possibilité d'employer de petits rails pour faire une voie de largeur normale, de construire un petit matériel avec des roues écartées, comme l'ont fait les tramways, la faculté de faire passer le matériel de la grande voie sur la petite amènera peu à peu une assimilation de mesures qui annuleront toutes les dispositions particulières à la petite exploitation.

La réduction de largeur acceptée, on a dit qu'il fallait la faire très grande pour qu'elle présentât de l'intérêt; on a cité l'exemple de l'Angleterre, qui a un chemin de fer, celui de Festiniog, à voie de 60 centimètres de largeur. Le Festiniog est un chemin de fer construit pour ardoisières, dans le pays de Galles, et sur lequel on a établi un service de voyageurs. Comme tous les chemins de fer des ardoisières de ce pays, il avait la voie de deux pieds, et, cette voie existant, on y a adapté un matériel à voyageurs.

Mais une faible diminution de la largeur permet d'assez grandes économies pour qu'il n'y ait aucune raison pour se donner la gêne qu'apporte dans la construction du matériel une très petite voie; la largeur suffisante serait 85 centimètres, qui, doublée, donne $1^{m},70$; c'est la largeur des omnibus et de nos grands tombereaux; il n'y a aucun intérêt à rester au-dessous.

On adopte volontiers le mètre, parce que c'est notre unité de mesure. Ce n'est pas à dire qu'il faille repousser la largeur de 75 centimètres, proposée par MM. Bérald et de Bazire, chargés par le ministère des travaux publics d'étudier cette question des petits chemins de fer. Le principe du chemin de fer à petit trafic étant toujours de proportionner l'outil au travail, dans beaucoup de cas, la voie de 75 centimètres sera un moyen de faire un chemin de fer là où même la voie de 1 mètre aurait été trop coûteuse. La voie uniforme n'est nullement indispensable pour les petits chemins de fer, le chemin affluent exclut toute idée de réseau; c'est une ligne qui va d'un point donné à la station.

Une seule raison fera tendre à généraliser certaines dimensions, c'est l'avantage de créer des approvisionnements chez les fournisseurs; on y trouvera de grandes facilités pour la rapidité de l'établissement des lignes.

Les rails. — Le faible poids des rails est une grande cause d'économie; comme résistance à supporter le petit matériel, on pourrait réduire, pour

ainsi dire, indéfiniment le poids des rails. Comme pose, les rails trop légers sont sujets à donner des voies qui serpentent, et encore le serpentage est beaucoup dû à la vitesse des trains, et ceux des petits chemins de fer ne doivent pas marcher vite. On adoptera assez généralement des rails de 12 à 15 kilogrammes, mais on descendra certainement au-dessous; il se fait au Creusot des rails vignole de 5 kilogrammes le mètre, employés sur une grande échelle pour les voies portatives.

Les traverses. — La traverse ordinaire en bois de chêne ou injectée est encore adoptée, et l'économie qui résulte de la réduction de longueur n'est pas tant à dédaigner; au lieu de 5 et 6 francs, prix des traverses de grandes lignes, on la paye 1 fr. 80 à 2 francs. Mais il n'est pas dit qu'il ne se fasse à ce sujet d'autres applications : la bande de tôle rivée aux deux rails se comporte si bien dans le porteur de M. Decauville, que l'on sera certainement tenté de l'employer sur des voies fixes, pour des machines très-légères.

Les déclivités. — Les rampes que l'on rencontre encore sur beaucoup de nos routes ont été opposées aussi à la pose des rails sur les accotements, mais c'est encore l'idée des machines marchant à plein chargement qui a fait cette objection. Nos machines auront rarement la moitié de leur pleine charge; elles pourront donc aborder les rampes sans préoccupations.

On rencontre, aux environs de Paris même, deux applications de ce fait bien frappant : entre Port-Marly et Marly-le-Roi, il y a un chemin de fer posé sur la chaussée d'une route, ou plutôt d'une rue, dont la pente doit atteindre 6 centimètres par mètre; elle dépasse certainement 5 centimètres; une locomotive de 7 à 8 tonnes monte régulièrement une voiture de 20 à 25 personnes, elle peut en monter deux.

Le même fait se passe à Villiers-le-Bel. Relié par un chemin de fer à sa station située à quatre kilomètres, le village est traversé, sur près d'un kilomètre, par une voie ferrée; la pente est de 5 centimètres au moins, et les wagons longent les murs des maisons.

Cette question des rampes est, du reste, l'objet d'une étude particulière, depuis la solution si hardie qui a fait monter des wagons au sommet du Righi, avec une rampe de 30 centimètres par mètre. M. Riggenbach, l'auteur de ce système, fait aujourd'hui des machines mixtes qui marchent par l'adhérence en plaine; et quand la rampe se présente, la voie porte une crémaillère qui permet à la machine d'agir par traction directe; le système est appliqué, et l'Exposition suisse nous présente de petits modèles très intéressants à côté de la locomotive du Righi.

Une autre disposition moins coûteuse a été indiquée : la machine monte seule la rampe, entraînant avec elle un câble; quand elle est au sommet, elle s'attache à la voie et remorque le train comme le ferait une machine fixe.

Vous parlerai-je des courbes ? La petite voie permet de plus petits rayons, c'est mathématique; mais le mode d'exploitation lui-même les rend sans inconvénient : à la vitesse de 20 kilomètres à l'heure, qui est celle d'un bon cheval lancé, le conducteur n'aura pas plus de raison de faire un tournant vite parce qu'il aura une machine au lieu d'un cheval.

Pour les autres parties de la construction, il suffit de dire qu'il n'y aura ni clôtures ni barrières, que le ballast sera fait avec le caillou qui sert aujourd'hui à l'entretien de la route.

Il n'y a pas de bâtiment en principe, et il est important de ne pas déroger à ce principe. Que de stations de grandes lignes pourraient être tenues par un employé venant le matin, comme le comptable d'une maison, et qui comptent cependant trois ou quatre employés, parce qu'il y a un bâtiment de station.

Il vaudra mieux faire des voies de garage et des embranchements pour envoyer les wagons charger à domicile, que de recevoir en dépôt des marchandises, ne fût-ce que dans une baraque; la baraque deviendrait bientôt un bâtiment de gare; le wagon chargé peut bien attendre sur la route, comme attend la voiture du messager ou la charrette du roulier.

Le matériel roulant. — Pour le matériel roulant, on s'est borné jusqu'ici à réduire le matériel des grandes lignes, sauf un plus grand emploi, pour les voyageurs, de la circulation intérieure, adoptée par les tramways. Les études ne tarderont pas à se produire pour les marchandises, surtout en ce qui concerne le transbordement; on généralisera l'usage des châssis-enveloppes, déjà employés pour les porcelaines, les beurres et les poissons, à Paris.

Voilà rapidement quelques indications sur les dispositions nécessaires pour établir une ligne de petit chemin de fer, et il est bien certain que dès qu'un mouvement se sera produit dans le sens de la généralisation de ces constructions, il se fera, chez les fournisseurs, des approvisionnements qui permettront l'expédition d'une ligne de petit chemin de fer que l'on n'aura plus qu'à poser.

L'exploitation. — L'exploitation de ces petites lignes ne doit pas être assujettie à des règles fixes générales; une grande latitude doit être laissée aux agents chargés de régir l'entreprise.

Le personnel accompagnant chaque train, le train en navette devra être recherché, sans toutefois nuire à la coïncidence avec les trains de la grande ligne. Il est important de ne pas perdre du temps inutilement, quand on ne va pas vite en marche; avec de bonnes coïncidences, on peut faire gagner une journée aux voyageurs.

On évitera avec soin l'assimilation dans la gare avec ce qu'on appelle le service commun d'embranchements; le régisseur d'un affluent est un simple correspondant, qui apporte ce qu'il peut à la station et facilite la

livraison de ce que le chemin de fer a apporté : on lui doit aide comme au correspondant par la voie de terre; il ne doit, pas plus que ce dernier, supporter la plus faible partie d'une dépense de la gare qui ne serait pas faite spécialement pour lui.

La recette se fait en route au moyen d'un carnet dont le conducteur détache des parties correspondant à la distance que doit parcourir le voyageur.

Applications. — Toutes ces dispositions, Messieurs, ne sont plus de simples projets; il y a des lignes construites sur les accotements des routes, il y en a en construction. Malheureusement, beaucoup sont des concessions demandées pour être cédées avec des bénéfices en faveur des concessionnaires; l'insuffisance des ressources a quelquefois fait traîner l'établissement, ce qui n'a pas permis la construction économique qui est la base du système.

Je puis cependant citer un exemple qui a pu suivre la marche régulière et appliquer rigoureusement les principes d'économie nécessaires : c'est le chemin de fer d'Haironville à Triancourt, dans la Meuse.

Chemin d'intérêt local de la Meuse. — Concédé à M. Soulié, par convention avec le préfet, en date du 10 octobre 1876, il a été déclaré d'utilité publique par décret du 17 février 1877, et dès le mois d'avril 1878, le conseil général, pendant sa session, a pu parcourir sur un train une dizaine de kilomètres qui, quelques semaines après, étaient livrés au public.

M. Léon Soulié, qui a fait ses études d'ingénieur en Amérique, avait rapporté de ce pays des exemples nombreux de l'emploi de la voie étroite, que l'on a même, dans ce pays, substituée à la voie large sur les chemins de fer existants, lorsqu'ils n'avaient pas un trafic suffisant pour un chemin à grande voie. Il eut la bonne fortune de rencontrer des hommes qui l'encouragèrent à étudier l'application de ces dispositions en France, entre autres, M. Ernest Picard, qui comprenait si bien le côté pratique des choses et employait avec tant de zèle sa juste influence à vaincre les obstacles que la routine oppose chez nous à toutes les propositions nouvelles. Membre du conseil général de la Meuse, il contribua à décider la concession d'un chemin de fer d'intérêt local à voie étroite, placé sur l'accotement de la route; c'était un grand pas.

Comme député, il obtint l'approbation de cette concession par le Ministre des travaux publics, et un avis favorable du Conseil d'État, sur l'attribution du maximum de la participation de l'État à la subvention accordée par le département.

La ligne concédée coupe à peu près à angle droit la grande ligne de Paris à Strasbourg, à la station de Révigny, 16 kilomètres avant Bar-le-Duc. D'Haironville à Révigny, le tracé suit la vallée si industrielle de la Saulx, qui donne la force motrice à un grand nombre d'usines, à com-

mencer par les forges d'Haironville. Le caractère d'affluent, n'ayant à porter que les produits locaux, est ici bien accentué et justifie le chemin de fer sur route, bien que le trafic promette d'être d'une certaine importance. En raison de cette circonstance, les locomotives ont été construites plus fortes : elles pèsent 15 tonnes; le rail est de 15 kilogrammes le mètre, mais en acier; les rampes, suivant les prescriptions de l'Administration, ne dépassent pas 30 millimètres.

Sur la petite partie de cette section en exploitation, entre Révigny et Couvonges, le personnel ambulant fonctionne très-bien; les commerçants font très régulièrement leur service de correspondants; la traversée des villages devient une distraction pour la population. Le tarif est de 20 centimes pour les colis séparés et 12 centimes par wagons complets. Des dispositions sont prises pour faire des chargements de betteraves sur la ligne même, le long des champs, dans l'intervalle des trains. Il se présente déjà, sur ce petit parcours, un exemple très remarquable du peu d'importance du transbordement. Un meunier, dont le moulin est situé à 1,500 mètres de la halte, trouve avantage à décharger ses voitures dans les petits wagons pour faire arriver ses produits à la station, distante de 5 kilomètres! Il est probable que si le chemin de fer ne suivait pas la route, cet avantage ne lui eût pas été démontré. Cette partie de la ligne compte entre Haironville et Révigny 26 kilomètres.

Au nord de Révigny, la ligne pénètre dans l'Argonne et fait un détour assez grand pour desservir plus de localités, c'est ici un véritable chemin de fer agricole; sauf les extractions de phosphates fossiles qui donneront un tonnage important, le trafic industriel sera réduit au lait allant aux fromageries et aux fromages allant à la gare.

La longueur de Révigny à Triaucourt est de 35 kilomètres; les rails sont posés sur une partie du parcours, et l'exploitation s'ouvrira prochainement. Les populations demandent le prolongement de cette section jusqu'à Clermont-en-Argonne, et un embranchement qui mènerait plus directement de Clermont à Bar-le-Duc.

Grâce à une décision hardie, qui fera honneur à l'initiative du conseil général de la Meuse, un exemple sérieux de chemin de fer à voie étroite existera bientôt et permettra de montrer tout ce qu'on peut faire avec ces installations économiques, car la ligne aura plus qu'un trafic restreint.

Je devrais, Messieurs, compléter ces indications sommaires par l'estimation des dépenses que nécessiterait l'établissement d'un chemin de fer à très faible trafic posé sur les routes; mais ces appréciations générales, qui portent sur des cas tout à fait différents entre eux, donnent des chiffres qui ne sont pas vrais. On ne peut raisonner que sur des prix moyens, et la moyenne, c'est toujours l'exception.

Il y a de telles différences entre les cas qui peuvent se présenter, qu'il vaudra toujours mieux, pour se rendre un compte approximatif, faire une étude avant de prendre une décision. Sur les routes, ces études coûteront fort peu quand le service de la voirie pourra prêter les documents qu'il doit avoir dans ses cartons.

Si j'ai pu, Messieurs, vous démontrer que le chemin de fer peut s'établir dans des conditions différentes pour des trafics différents, et que, pour de petits trafics, on peut construire de petits chemins de fer, la question si controversée de la solution de nos transports par voies ferrées aura fait un grand pas.

III.

LES TARIFS.

Après avoir signalé les dispositions qui permettent de réduire les dépenses proportionnellement au service que l'on doit faire faire à un chemin de fer, il y a lieu d'examiner les meilleurs moyens à employer pour élever la recette de manière à balancer la dépense, même avec un faible trafic.

La recette est le produit du tonnage par le tarif; le tonnage sera faible, et l'on ne peut compter que sur un développement lent, puisque nous ne desservons que les produits locaux; dès lors un seul facteur est variable, c'est le tarif.

Je me sers du mot tonnage avec intention, car le trafic comprend voyageurs et marchandises. Il y aura lieu d'abaisser, même au-dessous du prix des grandes lignes, le prix du transport des voyageurs, pour ces petites distances que l'on peut facilement faire à pied; la marchandise, au contraire, n'a que peu de moyens de déplacement; elle payera relativement beaucoup plus que sur les grandes lignes, et encore avec avantage. C'est donc surtout sur le tonnage qu'il faut compter pour couvrir les frais.

Ces tarifs de chemins de fer, qui ont été ces temps derniers l'objet de tant de discussions, avaient aussi beaucoup préoccupé les fondateurs des chemins de fer : ils sentaient bien que le développement du tonnage, si nécessaire pour assurer leur train complet, était essentiellement lié à l'abaissement des tarifs. Tous leurs efforts pour grossir l'outil de travail avaient pour but principal la réduction des dépenses pour une recette donnée, et cette réduction des dépenses a amené un abaissement volontaire des tarifs portés aux cahiers des charges primitifs.

Ce n'est plus par ce moyen si rationnel que l'on cherche aujourd'hui l'abaissement des tarifs de transport; c'est par l'application d'une justice distributive qui fait payer plus que le prix de revient sur certains points, afin de pouvoir faire payer, sur d'autres, les transports moins qu'ils ne coûtent réellement.

C'est là de l'arbitaire, et un tarif ne doit pas être arbitraire; il faut qu'il soit calculé suivant des règles déterminées.

Le tarif représente, avec l'intérêt et l'amortissement du capital, la rémunération des peines et aléas d'une entreprise; c'est une partie du prix de revient des objets qui, fabriqués sur un point, sont consommés sur un autre; c'est un travail, il ne doit pas échapper à la loi commune du travail, qui réduit ou augmente les prix, suivant qu'il y a beaucoup ou qu'il y a peu à faire.

Le calcul exact d'un tarif serait la division de la dépense par le tonnage transporté; s'il y a beaucoup de transports, le prix est bas; s'il y en a peu, il doit être élevé.

Mais, en pratique, les choses ne se passent pas aussi simplement : les marchandises se partagent en catégories, et toutes les tonnes ne payent pas de même. On peut regretter que l'usage ne se soit pas établi de considérer le transporteur comme ignorant la nature des objets transportés. Pour lui, la marchandise ne devrait être *que des kilogrammes ou des mètres cubes;* le calcul eût alors été facile. Il n'en est pas ainsi; mais le principe n'en est pas moins juste : *le tarif doit être d'autant plus élevé qu'il y a moins de tonnes à transporter.*

Quant à la disposition qui fait payer par le budget, c'est-à-dire à tout le monde, une partie de la dépense du transport, elle est injuste dans son principe et bien dangereuse dans son application; elle fausse le prix de revient. Malheureusement, elle est entrée dans nos habitudes en France, et ces habitudes ont créé un état de choses regrettable; les influences personnelles ont eu trop d'action dans le tracé de nos chemins vicinaux et en ont trop dans leurs dépenses de bon entretien.

C'est au nom de l'intérêt général qu'on a enlevé les barrières sur les routes, et mis à la charge de tous les détériorations faites par quelques-uns. Notre administration s'est chargée de construire et d'entretenir nos routes et chemins; mais, l'industrie se développant, le service des usines a montré l'injustice de cette mesure. On a alors cherché à y remédier, et l'on a adopté le mode de perception le plus arbitraire qui se puisse voir : *la subvention industrielle!* Un employé est chargé de répartir entre ceux qui se servent de la route la dépense occasionnée par son entretien!

Les Anglais ne sont pas moins pratiques que nous, Messieurs, et pourtant ils ont maintenu les barrières, bien gênantes c'est vrai, mais seul moyen de perception sur une route. C'est que les Anglais redoutent avant tout de laisser entre les mains de leurs gouvernants le moyen de favoriser les uns aux dépens des autres.

Ce qui pouvait s'expliquer pour les routes, par la difficulté de perception, ne se justifie nullement sur les canaux, où l'État perçoit sciemment un péage insuffisant pour couvrir les dépenses d'entretien.

Tout service mérite salaire, et l'usage d'un chemin ou d'un canal est un service rendu à celui qui s'en sert; il doit payer ce service, c'est-à-dire partager les frais faits, pour qu'il y ait un chemin de fer ou un canal, avec ceux qui comme lui en usent.

L'État peut et doit intervenir pour assurer l'établissement des voies de transport; mais ceux qui s'en servent doivent payer ce que coûtent la rémunération des capitaux et les frais d'exploitation.

Toute dépense de transport payée par le budget est une illusion qui trompe le producteur et ne permet pas l'établissement d'un prix de revient exact.

Le tarif doit être établi en se rendant compte de la dépense annuelle à couvrir et du tonnage probable à desservir. Un chemin de fer pourra toujours de cette façon balancer ses dépenses avec ses recettes probables.

Cette méthode peut donner des tarifs élevés dans certains cas, mais susceptibles d'être abaissés au fur et à mesure du développement du trafic. Quels que soient ces tarifs, même aux prix actuels des transports sur une route, il y aura grand avantage pour une contrée à avoir un chemin de fer.

Dès lors, s'il y a possibilité de réduire les dépenses, en raison du faible trafic, et d'augmenter les tarifs, lorsqu'il n'y a que peu à transporter, il n'y aura pas de grands sacrifices à faire pour doter toutes les localités laissées en dehors du grand réseau, de leur communication avec la ligne la plus rapprochée, c'est-à-dire pour desservir *l'intérêt local.*

IV.

CLASSEMENT DES LIGNES.

Messieurs, la définition d'une expression est essentielle pour s'entendre, et il a été dit à la tribune législative qu'il était difficile de bien définir ce qu'on entendait par intérêt général et intérêt local, en fait de chemin de fer. Où finit l'un ? Où commence l'autre ?

Tout établissement d'une voie de transport est d'intérêt général, car tout habitant est intéressé à pouvoir arriver, même à une ferme, par un bon chemin. C'est le service d'un chemin de fer qui peut être d'intérêt local ou d'intérêt général, suivant qu'il se borne à mettre en communication entre elles les localités traversées, ou qu'il doit satisfaire un mouvement de transit qui vient d'en deçà et qui va au delà. C'est le service de transit qui établit l'intérêt général d'un chemin de fer, et toute ligne qui n'a pas de transit est nécessairement d'intérêt local, quel que soit son mode de construction.

Cette classification par le service, par l'exploitation, s'est faite tout naturellement sur nos grands réseaux; il s'est établi des trains de grande

vitesse qui ont répondu aux besoins d'un mouvement très rapide, suivant les grandes directions de Paris aux frontières.

Au lieu d'imposer aux grandes compagnies, sous le titre d'intérêt général, tant de lignes qui n'ont pas de transit, il eût été beaucoup plus d'intérêt général de leur demander d'instituer ces grands services à grande vitesse, même dans les directions qui ne semblent pas pouvoir les payer. Ne serait-il pas d'intérêt général d'aller à Brest aussi vite que l'on va à Bordeaux ? Ce sont à peu près les mêmes distances; on met pour ces parcours, 9 heures dans un cas, et 14 dans l'autre!

Un service qui est essentiellement d'intérêt général, et auquel on commence à peine à donner satisfaction, est celui du mouvement transversal à ces grandes directions : les trains de Nantes à Lyon, de Lyon à Bordeaux, etc.

En dehors de ces deux genres de service qui desservent si complètement le transit, il ne devrait y avoir que des services d'intérêt local; mais il faut bien le reconnaître, chemin de fer d'intérêt général n'a plus qu'une signification dans nos populations, il veut dire *chemin de fer payé par l'État !* Il faut réagir contre cette tendance à tout attendre du budget.

Si l'on admet la définition qu'il n'y a d'intérêt général que les lignes qui ont à desservir un transit, nous pouvons dire qu'en France une grande satisfaction a déjà été donnée à cet intérêt. — Il est trop facile de démontrer combien proportionnellement il a été peu fait pour l'intérêt local.

Il est temps de réparer cette injustice qui est aussi une grosse erreur économique; car une grande partie des souffrances de notre grande industrie des transports, et des plaintes qu'elle excite, viennent de cette anomalie.

Nous avons de belles rivières, mais pas de ruisseaux pour les alimenter. Notre production intérieure peut être assimilée à ces lacs sans écoulement qui se remplissent et se dessèchent sans rien produire; une simple rigole d'écoulement rend leur surface à la culture, tout en alimentant la rivière. Cette production intérieure se consomme difficilement sur place, quand elle se vendrait si avantageusement ailleurs, s'il y avait une communication avec la station du chemin de fer : une rigole d'écoulement!

Cette communication, ce n'est pas le chemin vicinal qui la donne; quel que soit son bon état d'entretien, quelques rectifications qu'on lui fasse, il permet de se rendre à la station, quand on a un cheval et une voiture, mais il n'y porte pas.

Le chemin de fer, au contraire, porte à la station; avec la chaussée, il donne à tous le cheval et le tombereau, sans lesquels la meilleure route ne sert à rien.

Que de gens retenus chez eux, que de produits perdus ou vendus à vil prix, faute du cheval et du tombereau! Les volailles, les œufs, le lait, le

beurre, les fruits qui pourrissent au pied des arbres de nos villages, seraient, s'il y avait un chemin de fer, envoyés tous les jours au marché de la ville voisine, qui renverrait la viande de boucherie qu'on mange trop peu au village.

Cet intérêt local, sacrifié par l'application qu'on a voulu lui faire de l'outil de transport imaginé pour servir l'intérêt général, on peut le satisfaire aujourd'hui par ces petits chemins de fer proportionnés aux petits trafics, proposés pour l'agriculture.

Aucun village ne peut, sans injustice, être privé de sa communication avec la station du chemin de fer qui le dessert; alors la situation réciproque des localités entre elles sera sinon égale, du moins analogue pour toutes; il n'y aura plus, entre les localités placées sur les grandes lignes et les autres, que la différence de la distance à parcourir, contre laquelle personne ne songe à réclamer.

V.

VOIES ET MOYENS.

Il me reste, Messieurs, à parler encore du point le plus important et aussi le plus délicat des moyens de créer les ressources nécessaires, considérables, quelque économie qu'on y apporte, pour doter toutes les localités éloignées des stations de leur chemin de fer, de leur petite ligne affluente.

C'est là le point essentiel, celui sans lequel les plus belles inventions, comme les dispositions les plus nécessaires, ne peuvent se réaliser : *pas d'argent, pas de travaux*.

La question est ici d'autant plus grave qu'il ne s'agit pas d'une ou de deux opérations; il faut pouvoir construire ces lignes pour ainsi dire à la demande des populations, et mettre dès lors à leur disposition un moyen qui les débarrasse de la préoccupation *si pénible* de constituer un capital, de trouver de l'argent.

Nous avons établi que le chemin de fer affluent devait et pouvait être construit et exploité avec une dépense proportionnée au trafic qu'il aura à desservir, et que le tarif pouvait être calculé de manière à couvrir cette dépense.

Toute ligne qui se présentera dans de telles conditions, sérieusement étudiée et contrôlée par les autorités locales, doit pouvoir réunir les capitaux nécessaires, sans avoir à solliciter des souscripteurs indifférents ou des intermédiaires rapaces.

La thèse dont on a trop abusé, que la meilleure preuve à donner de l'utilité d'une ligne était de trouver la souscription du capital dans le pays même, est absolument fausse. L'industriel, l'agriculteur, et même notre petit commerçant local, ont-ils donc des capitaux disponibles ? Ne sait-on

pas, au contraire, combien ils sont gênés par le manque de fonds pour développer leurs affaires ? Quelle que soit l'utilité d'un chemin de fer, quelle que soit la certitude des bénéfices qu'il donnera, ils ne peuvent songer à souscrire même une faible partie du capital, sans s'exposer à nuire à leurs propres affaires.

Mais si les intéressés n'ont pas de capital disponible, ils savent ce que leur coûtent leurs transports annuels, et ils n'hésiteront pas à garantir un tonnage, à assurer une recette.

Alors qui fournira le capital ?

Permettez-moi encore de revenir sur le passé, car c'est lui qui nous montrera les mesures différentes que nous devons prendre pour des besoins différents.

La première période d'établissement des chemins de fer en France a été pénible; bien que favorablement accueillis par le public, de graves erreurs dans les évaluations, reconnues après l'ouverture des premières lignes, commençaient à inquiéter, lorsque la panique produite par la révolution de 1848 fit refuser les versements qui restaient à faire sur les actions souscrites; on préféra perdre ce qui était versé. Le Gouvernement dut intervenir et appliquer le séquestre; la plus admirable ligne qui soit, dont le trafic est aujourd'hui de plus de 200,000 francs par kilomètre, Paris à Lyon, fut mise sous séquestre : j'ai tort de dire Paris à Lyon, c'était Paris à Chalon, car on redoutait assez alors la concurrence de la navigation pour avoir proposé de raccorder le chemin de fer avec la Saône!

La fusion des sociétés de chemins de fer en cinq grands réseaux ramena la faveur sur ces opérations; mais, pour faire accepter aux compagnies des lignes qui devaient être improductives, le Gouvernement dut imaginer une combinaison par laquelle les sommes nécessaires aux dépenses de construction n'étaient plus demandées à des actionnaires exposant leur argent et auxquels revenaient tous les bénéfices. Ces sommes furent *empruntées* avec privilège sur la valeur des premières lignes, qui se trouvèrent ainsi hypothéquées; mais, en outre, l'État vint garantir au prêteur un intérêt minimum fixe. On créa l'*obligation de chemin de fer*.

C'est avec les obligations que tout le second réseau a été construit.

Nous avons dit que ce système avait donné lieu à des abus, et que la loi sur les chemins de fer d'intérêt local, proposée pour y remédier, avait amené de véritables désastres. C'est que, Messieurs, notre belle industrie des chemins de fer, à laquelle est certainement due cette situation invraisemblable d'une rançon de cinq milliards payée en quelques mois par un peuple, sans rien changer à son genre de vie, cette belle industrie, dis-je, a toujours tenté la spéculation. Des lignes, dont les concessions étaient refusées par les grandes compagnies malgré la garantie de l'État, étaient demandées en concession sans garantie, avec l'espoir

d'une *concurrence* que les lignes d'intérêt local devaient faire aux lignes d'intérêt général par des *raccourcis*.

La concurrence, Messieurs, en fait de transports, on l'a souvent dit, c'est le très bon marché aujourd'hui, avec des prix excessifs le lendemain; c'est pour l'industrie et le commerce l'incertitude dans le prix de revient.

L'Angleterre lui doit une crise terrible dont elle ne se relève que par la concentration, dans les mêmes mains, des lignes desservant les mêmes points.

Le monopole bien déterminé, avec des conditions précises et une surveillance sévère dans l'exécution des cahiers des charges, est bien préférable à cet état d'incertitude.

Quant au raccourci, il a été exploité avec une rare habileté, en mettant à profit la faute commise par la loi sur les chemins de fer d'intérêt local, de ne pas imposer un petit outil pour les petits trafics. La similitude des deux lignes a donné une grande apparence de justesse à l'avantage que semblait présenter le raccourci.

Or, en fait de chemin de fer, le raccourci ne signifie absolument rien; suivant le profil, une direction beaucoup plus longue donnera lieu à un transport moins coûteux, car la même machine qui peut, avec une même dépense, traîner soixante wagons sur une ligne à faible pente, ne pourra plus en traîner que vingt ou trente sur de fortes rampes. Il est moins coûteux d'aller à Marseille par Lyon que par le Bourbonnais, bien qu'il y ait 200 kilomètres de plus; et si le réseau du Midi appartenait à la Compagnie d'Orléans, on irait à Toulouse en passant par Bordeaux, et non par Limoges.

En outre, en raison de l'avantage des trains complets que nous avons signalés, s'il y a une ligne, même détournée, entre deux points, il y aura plus d'économie, dans le déplacement des matières, à les apporter toutes à cette ligne qu'à créer une ligne plus courte, qui divisera le tonnage et fera qu'aucune des deux lignes ne travaillera à plein chargement.

Tout le succès du placement des actions des chemins d'intérêt local est dû à cette fausse théorie du raccourci permettant la concurrence.

Les débats parlementaires ont révélé les déplorables conséquences de ces opérations, et un acte de générosité du Gouvernement a jeté sur ce passé un voile que je n'ai nulle intention de soulever; mais je puis dire que cet acte généreux et très politique a considérablement atténué l'effet du désastre, en sauvant le crédit des obligations qui auraient vu disparaître leur valeur, comme celle des actions, dans une liquidation régulière.

Ce ne sera pas une meilleure appropriation des chemins de fer au trafic auquel ils sont destinés qui fera rétablir le crédit perdu par les actions de chemins de fer. L'actionnaire, le capitaliste qui fait œuvre d'entreprise,

qui admet un risque pour courir la chance d'un revenu plus élevé, a besoin d'une confiance absolue dans l'opération qu'il tente; il étudie peu l'affaire en elle-même; il prend des actions parce qu'il a confiance dans les promoteurs, plus souvent, il est vrai, pour la prime que pour le revenu, qu'il compte bien ne pas attendre.

Nul ne peut aujourd'hui se flatter d'inspirer cette confiance, et tout *appel loyal* à une souscription d'actions pour faire des chemins de fer restera infructueux.

Mais l'obligation, grâce à la mesure libérale du Gouvernement, a gardé tout son prestige; les petits capitalistes, ces détenteurs de l'épargne, qui préfèrent un faible revenu certain à des bénéfices aléatoires, sont plus nombreux que jamais, et recherchent avec avidité les titres garantis.

Dès lors, pourquoi ne pas revenir à la forme qui a si bien réussi pour le second réseau? Faire le capital avec des sommes empruntées sous la garantie de l'État, avec cette différence importante que, puisqu'il y a possibilité de balancer la recette et la dépense, l'État devra toujours exiger cette condition pour ne pas créer de nouvelles charges au budget.

La garantie donnée par l'État serait ainsi tout à fait *nominale,* et peut être comparée à la troisième signature donnée par le banquier pour qu'un effet de commerce soit escompté par la Banque de France. Cette formalité est indispensable pour que la Banque verse l'argent, et cependant le banquier ne prend qu'une faible commission, parce qu'il ne donne cette troisième signature que lorsqu'il s'est assuré que le billet est bon, qu'il sera payé à l'échéance. L'État ne donnera de même sa garantie que lorsqu'il lui sera démontré que la ligne payera ses dépenses annuelles.

La garantie de l'État doit ici être entière; il n'y a pas lieu, comme pour le second réseau, de laisser une partie de la charge au concessionnaire. Toute restriction inquiétera les concessionnaires sérieux, et servira aux faiseurs, qui trouveront toujours moyen de la dissimuler au public.

Les personnes intéressées à l'exécution d'une petite ligne n'auront plus alors qu'à établir, par une étude préalable, toujours facile à contrôler pour ces petits parcours, que la recette sera suffisante pour couvrir la dépense; l'État leur donnera sa garantie d'intérêt, avec laquelle elles seront assurées de trouver le capital nécessaire, sans avoir à supporter les conditions trop souvent léonines des intermédiaires.

Pourquoi alors, dira-t-on, ne pas laisser construire ces lignes par l'État, puisqu'il fournit les fonds?

D'abord, il ne fournit pas les fonds; il prête son crédit, comme le banquier qui donne la troisième signature, ce qui est bien différent. Mais, en outre, l'État ne doit pas construire, parce qu'il ne doit pas exploiter; bien que cette exploitation existe, le Ministre a déclaré, lors du vote de la loi, que cette exploitation était essentiellement provisoire.

Si l'État ne doit pas exploiter, il s'exposerait à des réclamations et même à des revendications de la part de l'exploitant, s'il se chargeait de la construction.

Diverses combinaisons ont été proposées pour réunir les capitaux et construire ces petits chemins de fer affluents, pour ainsi dire à volonté, lorsque l'utilité en serait reconnue.

Une entre autres consistait à considérer ces lignes comme des correspondances subventionnées par la grande ligne, et à faire payer à celle-ci la subvention, non plus en une somme annuelle, mais en capital constitué par l'émission de ces titres garantis, affectés à l'établissement du second réseau [1].

Les grandes compagnies n'ont pas voulu prendre l'initiative de cette mesure, et le ministère des travaux publics n'en a pas admis l'utilité; M. de Franqueville ne croyait pas à l'efficacité de ces petites lignes. Il ne se refusait pas à laisser construire des voies placées le long des routes, mais l'Administration ne devait pas les patronner, les recommander.

Aujourd'hui encore il semble que cette impression soit celle du ministère, car la nouvelle loi sur les chemins de fer d'intérêt local fait aux chemins de fer sur routes une place bien petite : c'est une véritable tolérance.

N'y a-t-il pas là, Messieurs, quelques analogies avec ce qui a dû se passer pour la loi de 1836 sur les chemins vicinaux, lorsque le ministère des travaux publics laissa confier la construction de ces petites routes au ministère de l'intérieur?

Cette prévention du ministère des travaux publics n'a pas été la seule objection à la disposition qui réclamait le concours des grandes compagnies. L'intervention directe de ces puissantes sociétés a inspiré des craintes pour la libre action des petites exploitations.

Mais d'autres dispositions peuvent donner au Gouvernement la sécurité absolue dont il doit entourer l'autorisation d'émettre des titres garantis par l'État, avec ou sans la participation des départements ou des communes.

La loi, ou plutôt les lois présentées au Sénat et déjà discutées par lui en commissions, prescrivent les conditions dans lesquelles devront être concédés, construits et exploités: 1° les chemins de fer d'intérêt local, suivant le type des chemins de fer d'intérêt général; 2° les chemins de fer placés sur les accotements des routes. Quel que soit le sentiment que l'on puisse avoir sur les détails de ces documents, on ne peut que vivement applaudir à leur production, et remercier le Ministre infatigable qui s'est hâté de provoquer leur mise à l'étude.

Je me permets de souhaiter seulement pour les chemins de fer sur routes une place plus importante, parce qu'ils permettent de satisfaire plus de

[1] Lettre à M. Caillaux, ministre des travaux publics, par M. Ern. Chabrier, ingénieur civil, juin 1875.

besoins que les chemins de fer à travers champs. Et je serais bien heureux si j'avais pu apporter quelques arguments en leur faveur, en les réhabilitant dans l'esprit des législateurs qui ont la bienveillance de m'écouter.

VI.

CONCLUSIONS.

J'ai déjà bien abusé, Messieurs, de votre temps et de la bienveillante attention que vous m'avez prêtée; mais je crains d'avoir été confus, et je vous demande la permission de rappeler les points principaux que j'ai cherché à établir.

L'outil de transport créé par les auteurs de nos chemins de fer répondait admirablement au travail à faire: transporter les voyageurs à grande vitesse, les marchandises par trains complets.

Lorsqu'il y a eu à construire des chemins de fer qui ne devaient avoir ni transport à grande vitesse ni trains complets, on a commis une erreur économique en employant le même outil pour ces services.

L'outil de transport étudié pour mettre les chemins de fer à la disposition des agriculteurs permet de proportionner le chemin de fer au trafic que l'on espère avoir; il est très convenable pour les services d'intérêt local.

C'est le chemin de fer à voie étroite, placé autant que possible sur les accotements de routes.

Le tarif est le prix d'un service rendu; il doit être proportionné à la dépense nécessaire pour pouvoir obtenir ce service; moins il y a de tonnage sur une ligne, plus le prix de transport doit être élevé. Le tarif doit être calculé en raison de la dépense et en raison inverse du tonnage.

Le chemin de fer d'intérêt géneral doit toujours desservir un transit; tout chemin de fer sans transit est un chemin de fer d'intérêt local.

On a beaucoup fait pour les services de transit; il est temps de s'occuper du service local. Le Gouvernement doit tout son concours à ces lignes, tant dans l'intérêt des populations que dans celui des grands chemins de fer qu'il a garantis.

La meilleure forme pour ce concours est la garantie d'intérêt, qui permettra de réunir tous les capitaux nécessaires, sans les inconvénients des souscriptions publiques d'actions.

La garantie doit être entière et sans restriction.

Tout chemin de fer affluent dont l'étude sérieuse établira que le tonnage multiplié par le tarif couvrira la dépense annuelle, doit être autorisé à émettre des titres garantis pour la somme représentant son établissement.

Le moment est critique, Messieurs, la situation s'aggrave tous les jours.

En juillet 1865, *il y a plus de treize ans,* une loi a été faite pour répondre aux besoins du service local, déjà manifestes alors; elle a été détournée de son but; elle n'a donné aucune satisfaction à ce besoin.

Lorsque la France a été débarrassée des tristes préoccupations de sa rançon, ce besoin est apparu plus impérieux encore, et ses représentants s'en sont fait l'écho, en déposant à plusieurs reprises des projets de loi sur ce sujet.

C'est avec anxiété que la nouvelle loi est attendue; cette loi aura une portée considérable! Si elle laisse la moindre incertitude, non-seulement notre grande industrie des transports périclitera encore, mais tout le travail en France continuera à souffrir.

Si, au contraire, elle répond à l'attente générale, si elle donne une large satisfaction à l'initiative locale, en la débarrassant de toute préoccupation pour se créer des ressources, elle sera le point de départ d'une ère nouvelle de cette activité intelligente qui caractérise notre pays.

Ce ne sera pas quelques centaines de kilomètres qui seront mis à l'étude; chaque station de nos grandes lignes, et il y en a plus de 4,000, sera le but d'un ou de plusieurs affluents de 10, 20 ou 30 kilomètres; le chiffre de 40,000 kilomètres énoncé dans le si remarquable rapport du Ministre des travaux publics, en janvier dernier, sera bientôt atteint et dépassé.

Et ce ne sont plus ici, Messieurs, de ces grandes entreprises qui demandaient chacune des mois de discussion, des années pour les études, des fractions de siècle pour l'exécution.

Chaque petite ligne fera son travail à part, sans s'occuper de ce qui se passe ailleurs; en quelques semaines les plus actifs pourront présenter leur étude établissant la preuve que la recette couvrira la dépense; le contrôle des autorités locales sera facile et rapide. L'administration centrale n'aura plus qu'à s'assurer de la compétence de ceux qui ont fait ce contrôle, pour rendre le décret concédant la construction, avec autorisation d'émettre, sous certaines conditions, les titres garantis; et les capitaux seront alors réunis sans affiche, sans appel au public, sans réclame. Le travail se fera partout à la fois, sans agitation d'aucune sorte.

En quelques mois il serait possible de procéder aux commandes, et quelles commandes!

Supposons seulement que le quart des stations donne lieu à un affluent: il y aurait 1,000 lignes à l'étude, et en prenant une longueur moyenne de 20 kilomètres, 20,000 kilomètres.

Les 1,000 lignes demanderont:

De 3 à 4,000 locomotives, de 80 à 100,000 wagons.

Les 20,000 kilomètres, à raison de 30 tonnes de rails et 1,500 traverses par kilomètre, exigeront :

600,000 tonnes de rails, 600 millions de kilogrammes de fer! et 30 millions de traverses, représentant près de 1,500,000 mètres cubes de bois!

Nos forges, si accablées, pourront toutes rallumer leurs feux, nos ateliers de construction reprendront leur activité.

Entraînés par ce mouvement, beaucoup de prétendants à des lignes d'intérêt général se désisteront de leurs demandes, qui ne sauraient être satisfaites avant une dizaine d'années, malgré les plus grands efforts, et permettront au Ministre de concentrer toutes les ressources du budget sur les lignes vraiment d'intérêt général, pour en activer la mise en service.

Voilà, Messieurs, à quoi ose prétendre le modeste chemin de fer sur routes; je serais bien heureux si j'avais pu aujourd'hui vous faire partager ma profonde conviction que cette prétention est juste, que cette solution s'imposera, et que *pour sa réalisation, le plus tôt sera le mieux*. (Vive approbation et applaudissements.)

M. de Mahy, *président*. Mesdames et Messieurs, je ne veux pas vous retenir un instant de plus; mais vous me permettrez d'être votre interprète, en adressant à M. Chabrier nos félicitations et nos remerciements. (Très-bien! très-bien! — Applaudissements.)

L'attention que vous lui avez prêtée et les applaudissements que vous lui accordez en ce moment sont le gage certain d'un succès de bon aloi. (Vive approbation.)

La séance est levée à 3 heures et demie.

PALAIS DU TROCADÉRO. — 28 SEPTEMBRE 1878.

CONFÉRENCE

SUR

LES FREINS CONTINUS,

PAR M. BANDERALI,

INGÉNIEUR-INSPECTEUR DU SERVICE CENTRAL DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION AU CHEMIN DE FER DU NORD.

BUREAU DE LA CONFÉRENCE.

Président :

M. Forquenot, ingénieur en chef du matériel et de la traction au chemin de fer d'Orléans.

Assesseurs :

MM. Chobrzynski, ingénieur-inspecteur principal de la traction au chemin de fer du Nord.

Gottschalk, directeur du matériel et de la traction du chemin de fer de la Sudbahn (Autriche).

Mantion, ingénieur en chef des ponts et chaussées, ingénieur-chef de la division des travaux et de la surveillance au chemin de fer du Nord.

La séance est ouverte à 2 heures.

M. Forquenot, *président.* Nous donnons la parole à M. Banderali. Il va développer devant vous la question des freins continus, qui intéresse au plus haut degré la réalisation de nouveaux progrès dans les chemins de fer.

M. Banderali. Messieurs, ce n'est pas sans une certaine inquiétude que j'aborde le sujet que je vais avoir l'honneur de traiter devant vous. Je sais parfaitement que, quelque soin que je mette à me maintenir en équilibre sur un terrain aride et glissant, je ne pourrai éviter de me heurter à quelques préventions, de froisser quelques légitimes susceptibilités, de meurtrir quelques illusions : je réclame donc toute l'indulgence du public, qui subira des explications nécessairement techniques; des ingénieurs, qui ne seront

pas toujours de mon avis; des inventeurs dont je parlerai beaucoup, de ceux dont je ne parlerai pas assez, et surtout de ceux dont je ne parlerai pas du tout.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Le sujet qui fait l'objet de cette causerie est peut-être, en matière d'exploitation technique des chemins de fer, celui qui, à l'heure présente, préoccupe le plus généralement les ingénieurs et intéresse le plus vivement le public.

La question des freins continus, c'est-à-dire des freins appliqués à la fois à toutes les voitures d'un train, qui forment un des principaux éléments de la sécurité, n'a acquis l'importance qu'on ne peut lui refuser que depuis quelques années.

Elle se lie intimement aux progrès que le développement du trafic rapide a nécessairement amenés à sa suite dans l'industrie des chemins de fer. Et quand je parle de trafic rapide, je n'entends pas seulement parler du service des grands trains express, lourds et à grande vitesse, qui, depuis quelques années, sont devenus un besoin impérieux, soit par suite d'une concurrence féconde en fait d'améliorations techniques, comme en Angleterre, soit par suite de l'extension des relations internationales et du désir toujours croissant de communications faciles suivant certaines grandes directions fréquentées par les voyageurs au long cours, entre Londres, Paris, Vienne, Berlin, l'Orient, l'Inde et les deux Amériques.

Ces grands services postaux et commerciaux, après avoir été rendus possibles par la création des voies ferrées, qui les ont véritablement engendrés, exigent, par une conséquence fatale de la marche de la civilisation, plus encore qu'on ne leur a donné jusqu'à présent, et il semble que la limite du possible recule sans cesse devant ces exigences.

Ce besoin d'activité, cette fièvre toute moderne de mouvement utile et productif, qui, un peu par esprit d'imitation, d'entraînement, un peu par nécessité et par intérêt, par amour-propre, de gré ou de force, s'empare des générations actuelles, cette fièvre, dis-je, s'étendant du Nord au Midi, a fini par gagner les races les plus disposées, les plus habituées à l'indolence.

Elle n'a pas seulement produit ses effets dans les relations internationales, cosmopolites, de peuple à peuple, de monde à monde.

Mais, dans les limites plus restreintes de chaque État, de chaque province, de chaque ville, dans les relations de voisinage, sur le terrain plus intime et plus connu que foulent tous les jours ceux qui ne peuvent aspirer aux lointaines et onéreuses aventures, sur le sol du *home*, les habitudes se sont profondément modifiées depuis trente ans, et le déplacement est entré dans nos mœurs dans des proportions inconnues de nos pères.

Les inventions modernes, vapeur, chemins de fer, télégraphes, nous ont appris cette vie à outrance. Elles doivent sans cesse alimenter les besoins qu'elles ont fait naître et nous assurer dans ce nouveau mode d'existence forcée autant, sinon plus, de garanties de sécurité et de bien-être qu'en offrait la vie calme d'autrefois à nos aïeux satisfaits.

Ainsi, dans le cercle des relations intérieures, les trains de chemins de fer qui desservent, en s'arrêtant le plus possible, les centres rapprochés de populations, les trains omnibus, à arrêts fréquents, doivent épargner le temps précieux des voyageurs. Les instants qu'on passe en voiture de chemin de fer sont presque généralement considérés comme du temps perdu. A peine parti, on voudrait être arrivé, et aucun des moyens propres à atteindre rapidement le but ne doit être négligé.

Les freins continus, sous ce rapport, jouent un rôle des plus importants; et il suffit, pour s'en convaincre, de suivre le service des chemins de fer métropolitains de Londres, le *nec plus ultra* du genre, qui serait simplement impossible sans l'usage de freins continus.

Je résume ce préambule.

L'accélération dans la marche des grands trains express, la multiplicité et la charge croissantes des trains parcourant certaines directions à intervalles très rapprochés; pour les trains locaux, la nécessité d'arrêts fréquents et de séjours très écourtés dans les gares, sans perte de temps : telles sont les causes générales qui, en dehors des chances d'accidents exceptionnels, encouragent les ingénieurs à placer entre les mains du personnel des moyens d'arrêt puissants, et qui assurent la fortune dont paraissent devoir jouir les systèmes efficaces, pratiques et simples de freins continus.

Après ces considérations générales, j'aborde la partie technique de mon sujet; mais, si je voulais la traiter complètement, j'abuserais et de votre temps et de votre patience.

Aujourd'hui je vous demande la permission de me borner à établir, avec autant de précision que possible, quelle étape a parcourue la question qui m'occupe, le point qu'elle a atteint en 1878, au prix de quelles études elle est parvenue à l'état, sinon de perfection, au moins de maturité pratique où nous la voyons arrivée.

Je laisserai dans une ombre propice les essais infructueux qui sont nombreux, les inventions sans issue; toutefois, et quoique avortés, ces efforts malheureux n'en ont pas moins entretenu l'agitation autour d'une idée juste. A ce point de vue, ils ont droit à une mention de notre part; nous leur devons même une mention reconnaissante.

ARRÊT DES TRAINS. FREINS ISOLÉS.

Je vous demande pardon des détails arides dans lesquels je serai obligé

d'entrer, malgré tous mes efforts pour les éviter. Je m'occuperai surtout des trains de voyageurs, qui sont les plus importants à munir de moyens puissants d'arrêt, mais sans oublier que les trains de marchandises devront nous présenter un problème tout aussi difficile à résoudre.

Lorsqu'un véhicule ou un ensemble de véhicules, porté sur des roues, parcourt une voie de fer, il est animé d'une force vive, d'une force d'impulsion qu'il s'agit d'amortir, d'anéantir ou plutôt de transformer, si on veut l'arrêter. L'effort à exercer sera d'autant plus grand que la masse du train sera plus grande, que le poids des roues sera plus considérable et que le train marchera plus vite.

Le travail à développer pour arrêter un train en marche est déterminé par des formules dont je vous fais grâce et que tous les ingénieurs connaissent. Il est proportionnel au poids du train et au carré de la vitesse. L'effort à exercer pour amortir ou transformer la force vive d'un train donné, lancé à 80 kilomètres, est quatre fois plus grand que si ce train était animé d'une vitesse de 40 kilomètres ou moitié moindre.

J'ai employé le mot *transformer,* qui me paraît plus juste que le mot *anéantir*, quand il s'agit de faire passer un corps de l'état de mouvement à l'état de repos. C'est que la force vive accumulée dans le train ne disparaît pas ; elle est absorbée par un travail nouveau qui prend naissance au moment où la période d'arrêt commence, travail généralement inutile et quelquefois nuisible en lui-même. Souvent on utilise le mouvement même du train pour l'arrêter; mais, quels que soient les procédés employés, c'est le sabot en bois ou en métal, fonte ou fer, frottant contre le bandage de la roue, qui a été de tout temps employé pour amortir la force vive de rotation des roues, les caler et faire absorber ensuite la puissance de translation des véhicules (qui survit au calage des roues) par le frottement de la roue calée sur le rail. Il se développe entre les surfaces frottantes et glissantes, sur l'une et sur l'autre, des échauffements et des déformations matérielles dont la production représente exactement la force vive disparue pendant la durée de l'arrêt, et qui sont l'équivalent de l'effort développé pour produire cet arrêt.

Je n'ai pas besoin d'insister sur la façon dont se produit le calage par les sabots ; tout le monde connaît ce système tout primitif de frein. Le cocher, dans nos voitures, agit par un levier ou une vis sur un arbre qui commande le mouvement des sabots, et les écarte ou les rapproche des roues.

Dans ce système si connu, l'arrêt ne s'obtient qu'aux dépens des surfaces frottantes, qui s'usent en pure perte et se détériorent rapidement. Il serait plus rationnel, théoriquement, d'absorder la quantité de force qu'on veut faire disparaître, par un travail sinon utile, au moins ne détruisant pas les organes utiles et essentiels des véhicules, par exemple par une

accumulation d'air ou d'eau comprimés dans un cylindre, ou tout autre travail de ce genre.

On a suivi ce principe rationnel quand, pour arrêter les locomotives, on emploie la contre-pression dans les cylindres, et rien ne dit que l'on ne trouvera pas le moyen de substituer au travail destructif du sabot ou du rail frottant sur les roues un travail moins nuisible. Certains freins réclament, à juste titre, comme un grand avantage, de ne pas exiger le calage des roues pour produire l'arrêt (systèmes Larpent, Lechatelier, Harmignies).

Quoi qu'il en soit, dès l'origine des chemins de fer, on a cherché à multiplier le nombre des roues sur lesquelles s'exerçait l'action des sabots.

GROUPES DE FREINS.

Après les freins isolés, devenus dès l'origine insuffisants, sont venus les freins accouplés, les groupes. Un seul mouvement mécanique, imprimé à un arbre de transmission par un organe moteur, pouvait appliquer les sabots, avec une puissance connue, sur les roues de deux, trois et quatre véhicules. C'était déjà un progrès, et dans cette catégorie rentrent les freins Newall, perfectionnés par M. Fay en Angleterre, par MM. Lapeyrie et Bricogne en France, et certains freins à chaîne, qui vraiment ne peuvent mériter le nom de freins continus : ce sont des transmissions continues agissant sur des groupes isolés. C'est dans ce sytème que rentre le frein Noseda, essayé en 1845, à Orléans, à chaîne avec galet de friction sur le bandage.

Malgré les soins que M^r. Fay a apportés au perfectionnement et à l'entretien des freins Newall, il n'a jamais pu actionner très-efficacement les freins de plus de cinq voitures, et encore, dans cette action, y a-t-il toujours les causes de lenteur, d'inégalité d'action et de faiblesse quand on transmet mécaniquement à distance un effort mécanique progressivement décroissant.

Toutefois, on était arrivé, avec les freins Newall, à des effets déjà fort satisfaisants, en adoptant la composition suivante :

En tête du train, la machine et le tender pesant cinquante tonnes, munis chacun du frein actionné par le mécanicien et le chauffeur. Puis, un groupe de trois véhicules, un frein moteur placé dans le premier et permettant au conducteur d'agir sur six paires de roues, représentant vingt tonnes environ. Le même groupe en queue. Donc, en somme, on agit avec des moyens d'arrêt plus ou moins énergiques sur quatre-vingt-dix tonnes d'un train pesant cent trente tonnes : c'est 70 p. o/o environ, et c'est un grand progrès sur les premiers systèmes.

Mais, quoi qu'il en soit, il faut, pour obtenir des arrêts prompts dans ces conditions, le concours simultané de quatre agents, dont deux au

moins sont prévenus au moyen de coups de sifflet conventionnels par celui qui voit le danger et commande la manœuvre, par le mécanicien.

On conçoit combien un pareil système doit faire perdre de temps précieux en face du danger, dans un moment où le chemin parcouru par le train dans une seconde est de 15, 20 et 25 mètres; quoiqu'on ait cherché à perfectionner les détails pour gagner du temps, on n'évitera pas les chances de surprise et de retard que présente l'action commune de plusieurs agents.

FREINS CONTINUS.

C'est lorsqu'on eut reconnu que, dans certains services à outrance, ces systèmes se trouvaient en défaut, qu'on chercha sérieusement des moyens d'arrêt plus efficaces, et qu'on fit dépendre le mouvement des sabots d'un seul mouvement initial placé dans la main du mécanicien lui-même.

Je dois dire, pour être fidèle historien, que l'idée de cette continuité nécessaire avait été appliquée, il y a vingt ans, par M. Achard, dans son frein électrique. Ce frein, qui a figuré avec honneur aux Expositions depuis 1860, avait, dès l'origine de son apparition, l'avantage de transmettre, d'un bout à l'autre du train, un courant électrique qui, par des attractions magnétiques savamment combinées, permettait d'utiliser la rotation même des roues à produire leur calage et leur arrêt. C'était un frein continu, jouissant même des avantages de l'automaticité. Les obstacles pratiques que l'on rencontra dès l'origine, la difficulté d'asservir l'électricité à un service sûr et régulier, retardèrent les progrès et les applications de ce frein (aujourd'hui très transformé), qui produisait des arrêts très rapides, et qui eut au moins le mérite de permettre d'apprécier tous les avantages que pourraient présenter les freins continus.

Un autre frein continu, qu'en bonne justice distributive j'aurais tort d'oublier, avait été essayé en 1858 : c'est le frein Guérin, depuis lors perfectionné par M. Dorré, et d'un principe si ingénieux; il empruntait au refoulement des tampons, dû au ralentissement brusque de la locomotive en tête du train, l'effort nécessaire pour actionner les sabots. Malheureusement la pratique mit en lumière certaines difficultés de desserrage, surtout dans les manœuvres de refoulement, qui ont refroidi le zèle des partisans du système et nui à son développement, malgré la faveur qu'il avait rencontrée dès l'origine. Peut-être a-t-on trop vite renoncé à suivre la voie tracée, surtout pour les applications aux trains de marchandises.

Tels sont les premiers freins continus qui, appliqués il y a vingt ans, ont été les précurseurs des freins continus nouveaux.

Les meilleurs systèmes de freins groupés ont été considérés comme pouvant arrêter un express marchant à 80 kilomètres à l'heure en 800 mètres dans les conditions normales.

Si je devais vous décrire ou même vous énoncer tous les systèmes de freins continus qui ont paru depuis six ans, j'abuserais certainement de votre patience. Tous ils se rattachent plus ou moins à quelques types principaux qui ont pris la tête du mouvement et qui, avec des mérites divers, se disputent le choix, les hésitations, les études et l'attention sérieuse des ingénieurs.

Sans laisser intentionnellement dans l'ombre des mérites réels, je serai forcé de ne vous donner qu'une description sommaire de ces types principaux, qui paraissent, en somme, remplir plus ou moins complètement, mais d'une manière pratiquement acceptable, les conditions théoriques et pratiques d'un *frein continu efficace*.

CLASSEMENT DES SYSTÈMES D'APRÈS LA NATURE DE LA TRANSMISSION.

En ne considérant que la nature des *moyens employés pour transmettre* d'un bout à l'autre d'un train les mouvements nécessaires au fonctionnement des sabots, quelle que soit d'ailleurs la nature de l'effort moteur placé dans la main du mécanicien, les freins dont je veux parler se classent en quatre catégories :

1° Les freins à transmission mécanique, tels que les freins Clarke et Wilkins, Clarke et Webb, Heberlein, Becker, types des freins à chaîne, peu applicables à des trains de plus de dix voitures, et qui ne peuvent être vraiment continus que jusqu'à une certaine limite ;

2° Les freins à transmission hydraulique, Barker et Clarke ;

3° Les freins à transmission électrique, le frein Achard ;

4° Les freins à transmission par l'air comprimé ou raréfié, tels que (premier genre) les freins Westinghouse, Steel and Mc Innes ; (deuxième genre) du Tremblay et Martin, Smith, Hardy, et Sanders.

FREINS MÉCANIQUES.

Dans les *freins mécaniques*, nous retrouvons, comme dans tous les autres, ainsi que vous le verrez plus loin, deux espèces d'applications possibles, et, par conséquent, deux espèces de freins : les freins automatiques et les freins qui ne le sont pas.

FREINS AUTOMATIQUES OU NON AUTOMATIQUES.

D'une manière générale et sans entrer dans des détails qui trouveront place plus tard, les freins automatiques ont nécessairement une disposition telle qu'il faut produire un effort constant pour tenir les sabots écartés des roues ; c'est au moment où cet effort cesse que les sabots s'approchent des roues et que, par conséquent, le frein est appliqué. Il faut alors exercer un effort pour desserrer le frein.

Dans les freins non automatiques, au contraire, dans l'état naturel des

choses, c'est-à-dire lorsque le frein n'est pas serré, il n'y a aucun effort à exercer. L'effort ne s'exerce qu'au moment où l'on veut appliquer le frein.

Parmi les freins mécaniques divers qui ont été essayés, il y en avait des deux systèmes; mais le principe même de l'action sur les roues a toujours été le suivant : une poulie de friction, mobile sur un axe parallèle aux essieux et tout à fait indépendante de ces essieux, mais pouvant osciller comme un pendule autour d'un point fixe, est rapprochée soit de l'*essieu tournant*, soit du *bandage de la roue qui tourne*, soit de *son boudin*, au moment où l'on veut produire l'arrêt. Cette poulie participe au mouvement de la roue, et l'axe sur lequel elle est calée, tournant avec elle, enroule une chaîne qui tire à son tour sur le levier placé sous la voiture, et qui actionne les sabots.

Vous voyez donc que c'est au moment où le tambour moteur ou poulie est rapproché des roues en mouvement que commence l'action proprement dite du frein.

Or, ce mouvement peut s'obtenir de plusieurs façons; on peut tirer une corde ou une chaîne qui parcourt tout le train, et qui est en communication, à chaque voiture, avec l'extrémité d'un levier agissant sur l'arbre des tambours dont je parle (cette corde ou cette chaîne ne se tend et ne subit l'effort de la main du mécanicien qu'au moment où il a besoin d'appliquer le frein); ou bien la corde ou la chaîne, tendue d'une manière constante, tient les tambours écartés des parties tournantes, et c'est au moment où cette tension cesse que le tambour, ramené par un contrepoids, vient participer au mouvement de ces parties tournantes. Dans le premier cas, ce qui produit l'arrêt, c'est un effort voulu, au moment du danger; dans le second cas, c'est au contraire un effort négatif, si je puis m'exprimer ainsi, ou la cessation de l'effort qui maintenait les tambours écartés des roues.

On conçoit donc que, si une cause quelconque vient à rompre la chaîne ou la corde continue, tendue le long du train, et qui a pour mission de tenir le tambour écarté des roues, cette rupture amènera l'application des sabots et l'arrêt du train.

FREIN BECKER (fig. 1).

C'est ainsi que, dans le dernier système de freins à chaîne, c'est-à-dire dans le frein que M. Becker, du Nordbahn de l'Autriche, vient d'étudier, il a adopté le système automatique avec chaîne sans cesse tendue dans toute la longueur du train. Cette tension était précisément la grande difficulté du système, parce qu'on comprend très bien qu'une différence dans les distances de véhicules entre lesquels passe un brin de la chaîne continue doit causer un relâchement de cette chaîne et, par conséquent,

une application des freins. Mais, par une disposition ingénieuse d'un appareil d'accouplement en V, M. Becker a triomphé de cette difficulté.

Son frein présente encore une particularité : la poulie de friction, qui se rapproche non pas de l'essieu, comme dans les freins Clarke, Webb, non pas du bandage, comme dans le frein Noseda, mais bien du boudin du bandage, est en deux parties : au centre, un moyeu ; autour de ce moyeu et en contact avec la roue, un anneau fou sur la partie centrale. Cet anneau, sous l'action de la roue, peut, jusqu'au moment de son arrêt définitif, prendre un mouvement de rotation, sans agir nécessairement sur son arbre, et, par conséquent, sur la chaîne spéciale qui maintient par sa tension les sabots appliqués contre les bandages. Il y a là un perfectionnement incontestable sur le frein à chaîne ordinaire. Les inconvénients du calage à outrance sont évités. Lorsque les voitures munies du frein Becker ne font point partie d'un train formé, il est clair qu'il faut éloigner les tambours des bandages, pour permettre le mouvement des voitures isolées. Ceci se produit au moyen d'un petit appareil spécial, formé d'un arbre et d'une manivelle de relevage. Dans le cas d'attelage, la tension de la chaîne qui longe les voitures s'opère au moyen d'une roue placée, soit sur la machine, soit dans le fourgon des conducteurs.

Des expériences du système ont été faites entre Vienne et Brünn; elles démontrent que ce frein, tout en étant fort puissant, ne remplit pas absolument les conditions du frein continu et rentre plutôt dans les freins accouplés, agissant sur des groupes limités de véhicules avec une transmission continue. C'est, du reste, l'inconvénient de tous les freins à chaîne, à transmissions purement mécaniques, transmissions qui évidemment ne peuvent agir à toutes distances du moteur initial.

Les freins de ce genre ont rendu les plus grands services sur le North London Ry, et ils avaient été même essayés pour un service courant sur le London and North Western Ry. Mais, comme le calage des roues était presque instantanément obtenu, il se produisait un glissement donnant lieu à des secousses fort désagréables qui ont fait renoncer à l'usage de ces freins dans le service courant. Ils sont freins de détresse.

Le frein Heberlein était déjà un perfectionnement des premiers freins à chaîne, et je crois que le frein Becker, tout en ne permettant pas une application à des trains de très grande longueur, peut être essayé, dans certains cas, avec avantage. Un perfectionnement récent semble devoir permettre une transmission à plus grande distance, soit par l'air raréfié, soit par l'air comprimé. M. Hardy a fait cette application du vide aux freins à poulies de friction, ce qui les fait rentrer dans la quatrième catégorie.

FREINS HYDRAULIQUES.

Je dirai peu de chose des *freins hydrauliques*. Je ne les crois pas destinés

à s'étendre, et quoique extrêmement puissants, les inconvénients de leur application étendue en pratique ont empêché bien des ingénieurs de les adopter.

Le principe en est simple : il consiste à accumuler, dans des réservoirs, de l'eau sous une pression assez forte, au moyen d'une pompe, et de mettre ces réservoirs en communication avec des pistons au moyen d'un tube qui s'étend dans toute la longueur du train. Les pistons, placés dans des cylindres sous chaque voiture, agissent sous l'impulsion de l'eau accumulée, lorsqu'on ouvre un robinet qui permet la transmission de cette pression jusqu'à ces pistons.

On conçoit que les inconvénients de la gelée, dans les pays froids, les fuites possibles, la difficulté d'entretien de ces organes dans un service aussi dur et aussi pénible que celui des chemins de fer, ne permettent pas de compter sur la régularité d'action du système dont je parle.

FREINS ÉLECTRIQUES (fig. 2).

J'arrive à vous dire quelques mots du frein Achard, c'est-à-dire du *frein électrique*. Vous avez vu plus haut que les ingénieurs qui ont construit des freins automatiques à chaîne demandaient à la chaîne de rapprocher, à un moment donné, les tambours ou poulies de friction de chaque essieu tournant sous les véhicules. Cet effet qu'on obtenait à distance, mécaniquement, M. Achard l'a obtenu par un courant électrique, c'est-à-dire que, suivant les derniers perfectionnements qu'il vient d'introduire dans son système, un essieu sur deux, sous chaque voiture, porte un manchon de friction qui tourne avec cet essieu.

Dans son voisinage, un arbre parallèle porte un tambour de friction de forme appropriée, dans lequel des électro-aimants développent leur force d'attraction au moment où ils sont traversés par le courant. Un rapprochement se produit entre le manchon et le tambour; la rotation de l'arbre indépendant est assurée. Une chaîne s'enroule sur l'arbre entraîné, comme dans les freins mécaniques, et l'action de la chaîne se transmet au bout du levier qui actionne l'arbre de commande des sabots.

Donc il suffit d'envoyer un courant électrique, conduit par un fil placé sous les voitures, de la tête à la queue du train, dans chacun de ces tambours intérieurement munis d'électro-aimants, pour produire la tension sur la chaîne, le rapprochement des sabots et l'arrêt. L'action est extrêmement rapide : l'enroulement de la chaîne s'exerce jusqu'à ce qu'elle soit arrivée à son maximum d'effet, et généralement il est si puissant que les roues se calent presque instantanément.

M. Achard avait également disposé sur l'arbre indépendant une véritable poulie à embrayage électrique : c'est le système essayé au chemin de fer du Nord depuis deux ans.

Le desserrage s'opère en cessant de faire passer le courant, ou même en faisant passer un courant inverse.

Le moteur électrique est une pile, qui est aujourd'hui la pile Planté, et qui est placée dans le fourgon de tête. On y joint généralement une seconde pile de renfort placée dans le fourgon de queue.

Le frein du système Achard (avant-dernier modèle) a été essayé d'une manière suivie au chemin de fer du Nord, et on ne peut lui refuser l'avantage des arrêts rapides. Ce que l'on peut dire encore, c'est que les combinaisons en sont fort ingénieuses, quoique très simples, et qu'il remplit un grand nombre des conditions qu'on peut exiger d'un bon frein continu. Mais il est impossible de le modérer dans son action, au moins jusqu'à présent, et il a une brutalité qui, amenant le calage presque dès l'origine de l'application, peut causer des secousses et des trépidations désagréables lorsque les arrêts sont très fréquents.

Enfin, pour beaucoup de personnes, les difficultés de réparation et de mise en ordre immédiate que l'on rencontre lorsqu'un frein, qui exige de la part de ceux qui l'emploient une connaissance assez profonde de son fonctionnement, se dérange en cours de route, ces difficultés, dis-je, sont un obstacle jusqu'à présent sérieux à l'extension du système, quelque recommandable qu'il soit dans son principe. Je suis loin de nier que, dans l'avenir, lorsque les agents des compagnies seront plus instruits, ce frein puisse rendre des services réels. Il a un avantage incontesté sur tous les autres : instantanément il transmet l'effort à des distances quelconques, et cet avantage peut être apprécié pour des trains très longs. La transmission électrique, en ce cas, sera peut-être une solution heureuse, si l'on tient à laisser l'organe moteur dans la main du mécanicien.

J'arrive maintenant à la dernière catégorie de freins, qui est celle qui doit me retenir le plus longtemps. De tout ce que j'ai eu l'honneur de vous dire jusqu'ici doit résulter pour vous ce sentiment que, pour des freins continus qui doivent agir d'un bout à l'autre d'un train de douze, quinze et vingt voitures, les transmissions par moyens mécaniques sont fort difficiles, sinon impossibles. On a donc songé à produire le mouvement de l'arbre qui commande les sabots, en donnant à la force chargée d'arrêter le train une transmission qui fût, autant que possible, indépendante de la longueur du train. Ainsi que je vous l'ai dit tout à l'heure, le frein électrique remplit de la façon la plus satisfaisante cette condition. Tout autre agent que l'électricité sera plus lent qu'elle, et vous comprenez dès à présent que l'instantanéité d'action sur tous les freins d'un train est une des conditions les plus importantes d'un arrêt rapide.

FREINS À AIR COMPRIMÉ OU RARÉFIÉ, AUTOMATIQUES OU NON.

L'air contenu dans des tuyaux, soit comprimé, soit raréfié, a paru pou-

voir être un agent de transmission qui, soumis à des moyens de compression ou de raréfaction suffisamment puissants, pouvait donner les résultats cherchés. Je vous décrirai sommairement les freins Westinghouse, Smith, Hardy et Sanders.

FREIN WESTINGHOUSE (fig. 3).

Le frein Westinghouse, dans la dernière forme que M. Westinghouse a donnée à une longue série de travaux et d'études très laborieuses et très bien conduites, se compose essentiellement d'une pompe placée sur la machine et actionnée par un petit cylindre à vapeur. Cette pompe comprime de l'air à une pression qui varie de trois à cinq atmosphères. Le mouvement de cette pompe est indépendant de celui de la machine.

L'air, comprimé dans le corps de pompe, se rend dans une conduite générale en fer pouvant résister à la pression, et qui va d'un bout à l'autre du train. Dans les intervalles qui séparent les voitures, le tube en métal est remplacé par des accouplements appropriés en caoutchouc.

Sous chaque véhicule se détache de la conduite générale un branchement qui se bifurque en deux parties : l'une, allant vers un réservoir destiné à emmagasiner de l'air comprimé; et l'autre, conduisant à un corps de pompe dans lequel se meut un piston. La tige rigide de ce piston agit elle-même sur le levier moteur de l'arbre des freins.

Vous voyez qu'il y a là une communication triple entre la conduite générale, le réservoir d'air comprimé et le cylindre à piston : c'est sur cette communication triple et à la rencontre même des trois tubes que se trouve l'appareil distributeur, cet organe si essentiel et si ingénieux du frein, qu'on nomme la triple valve. Le frein automatique dont je parle jouit de cette propriété, commune à tous les freins automatiques, qu'il faut toujours opérer un effort ou un travail pour empêcher les sabots de se rapprocher des roues, et que c'est au moment où ce travail cesse que le serrage se produit.

En effet, voici comment ce frein agit. La pompe placée sur la machine comprime de l'air dans la conduite générale, charge chacun des réservoirs placés sous les voitures d'air comprimé qui s'y emmagasine ; mais, grâce à la triple valve établie à la jonction dont j'ai parlé, cet air comprimé ne pénètre pas dans le petit cylindre. Et c'est seulement au moment où le mécanicien a besoin d'appliquer le frein qu'il lui suffit d'ouvrir un robinet sur la machine *pour mettre la conduite générale et chaque petit branchement en communication avec l'atmosphère,* pour détruire ainsi l'état d'équilibre de la *triple* valve qui isolait le petit cylindre à piston du réservoir voisin, et pour faire passer immédiatement l'air comprimé du réservoir dans le cylindre, derrière le piston qu'il pousse à fond de course, et dont la tige actionne le levier de l'arbre des sabots.

Il y a là un appareil qu'il serait très intéressant de pouvoir vous expliquer en détail : c'est la triple valve, dont le mécanisme est extrêmement ingénieux; mais je dois y renoncer et me borner à vous dire, ainsi que je l'ai fait, son objet spécial. M. Westinghouse, qui a fait une description très minutieuse de toutes les parties de son appareil, a compté les pièces qui composent cette triple valve : il en signale douze, mais je croirais volontiers qu'il y en a un certain nombre de complexes. Quant à la pompe à air, elle renferme trente-trois pièces différentes.

Vous venez de voir que, pour serrer le frein Westinghouse, il suffit, en un point quelconque de la conduite, de créer une communication avec l'air, c'est-à-dire de diminuer la pression de l'air qui y est contenu. Ceci rend l'application extrêmement facile, puisqu'elle n'existe évidemment aucun effort.

On peut craindre que des fuites ne produisent l'effet de la main du mécanicien agissant sur le robinet moteur qui est sur la machine, ou du conducteur agissant également sur le robinet mis à sa disposition. M. Westinghouse a paré à ces inconvénients, jusqu'à une certaine limite; il faudrait que la fuite fût assez importante pour causer mal à propos l'application du frein. C'est l'objet du « *Leakage valve* », ou valve des fuites.

En tout cas, M. Westinghouse considère ce point comme un avantage, car il y voit un mode d'avertissement qu'il y a un dérangement dans le système général.

Le frein ne doit pas caler les roues; il doit être modéré et suivre, en décroissant de puissance, le décroissement de la vitesse; c'est l'objet de l'organe appelé « *reducing valve* ».

On peut serrer le frein de toutes les parties du train.

Le frein est automatique, non-seulement parce qu'une rupture d'attelage amènera l'application de tous les sabots, puisqu'elle cause une rentrée d'air dans la conduite principale, mais aussi parce que chaque véhicule, portant, pour ainsi dire, son réservoir spécial de force motrice, a toujours son appareil chargé, prêt à fonctionner au moment où la rupture d'équilibre a lieu dans la conduite générale. Toutefois, comme c'est généralement le mécanicien qui produit, par l'ouverture d'un robinet placé sous sa main, cette rupture d'équilibre, il faut encore compter le temps nécessaire pour qu'elle se propage jusqu'à l'extrémité d'un train, et, pour des trains longs, ce temps ne serait certainement pas négligeable.

Des robinets, placés en différents points, permettent de remédier aux inconvénients qui pourraient se produire, si, le frein une fois serré par suite de la communication de la conduite générale avec l'air, un wagon était découplé de ses voisins. Sans ces robinets de secours, le frein resterait serré indéfiniment, puisqu'il faut l'intervention de l'air comprimé de la conduite générale pour le desserrer.

Donc, quand on découple les voitures d'un train muni du frein Westinghouse, il faut avoir soin, avant d'isoler les voitures, de fermer la communication de la conduite générale avec l'air ambiant, ou de vider entièrement tous les réservoirs et tous les appareils.

Toutes ces manœuvres ont besoin d'être connues de ceux qui emploient les appareils, et il est certain que l'usage de ce frein si ingénieux, mais composé d'un très grand nombre d'organes divers qui présentent des merveilles de mécanisme et de finesse dans le travail d'agencement, exige un apprentissage de la part du personnel. Le service peut être entravé par la nécessité de résoudre une difficulté, très grosse pour l'ignorant, et qui n'existerait pas pour un mécanicien connaissant le système.

L'énergie du frein dépend de la pression de l'air que l'on envoie sur les pistons des petits cylindres. Cette pression est évidemment celle de l'air contenu dans les réservoirs. Une fois les réservoirs chargés, il est impossible de faire varier la pression de l'air qu'ils contiennent ; elle devra être employée au premier moment de l'action avec sa puissance maxima : le frein attaque vivement.

La « *reducing valve* » a bien la prétention de régler la pression automatiquement, suivant la décroissance de vitesse ; mais le mécanicien préfère être maître de ce règlement, et c'est là un organe bien délicat, quoique très ingénieux.

Les difficultés de mesure et de réglage à volonté de l'effort qui produit l'arrêt sont réelles; le mécanicien doit avoir, malgré tout, grand'peine, lorsqu'il s'agit, par exemple, de produire un effet de ralentissement continu sur une pente, à modérer à son gré la vitesse de son train. Du reste, les ressources d'invention dont M. Westinghouse a fait preuve lui permettront peut-être de perfectionner encore la « *reducing valve* », et de trouver aussi une solution pratiquement commode de cette difficulté de réglage volontaire.

Vous m'excuserez de ne point entrer dans plus de détails au sujet du fonctionnement de ce frein, sur lequel j'aurai, du reste, l'occasion de revenir; car, j'ai réservé pour la fin de cette conférence le résumé des résultats qu'on obtient avec les divers systèmes de freins, et qu'ont montrés des expériences nombreuses et fort variées. Je puis dire dès à présent que le frein Westinghouse donne des arrêts remarquablement rapides et satisfait à toutes les conditions *théoriques* d'un frein continu efficace.

D'ailleurs beaucoup d'entre vous l'ont expérimenté : c'est le frein que la compagnie de l'Ouest a adopté pour les trains conduisant à l'Exposition ; et si, dans une application aussi hâtivement conduite et qui fait grand honneur à la compagnie de l'Ouest et à M. Westinghouse, quelques imperfections se sont produites, soit dans le montage, soit dans la manœuvre, si le public se plaint quelquefois de l'effet un peu désagréable de l'arrêt

Freins continus. Dessins théoriques.

Frein mécanique. *Système Becker*

Chaîne de tension continue

Frein électrique. *Système Achard*

Fil de la transmission électrique

Freins continus. Dessins théoriques.

Frein à air comprimé. *Système Westinghouse.*

Conduite générale

Frein à vide. *Système Smith.*

Conduite générale.

produit par ce frein, je crois pouvoir dire que ces inconvénients doivent disparaître avec le temps et ne sont point, de leur nature, irrémédiables.

Pour éviter ce petit choc dont tout le monde parle, il serait bon de desserrer le frein au dernier moment de l'arrêt; mais le système est-il assez docile pour permettre ce desserrage *in extremis?*

C'est une question que l'on peut espérer voir bientôt résolue. Les attelages, les ressorts de choc doivent être étudiés pour des conditions d'arrêt inconnues, et un avenir prochain nous permettra de jouir des progrès déjà acquis sur le *Metropolitan* de Londres[1].

Vingt-sept brevets, dit-on, protègent la propriété des freins Westinghouse.

FREINS À VIDE (fig. 4).

Les freins à vide sont de deux natures : automatiques ou non.

Le frein Smith, qui ne diffère d'ailleurs du frein qu'avaient imaginé, en 1860, MM. du Tremblay et Martin, que par quelques détails perfectionnés et mieux étudiés, n'est point automatique, dans sa simplicité à laquelle son auteur tient essentiellement.

Son principe est le suivant :

Sous chaque véhicule se trouve un sac ou soufflet, en forme de lanterne *vénitienne*, compressible, dont un fond est fixe tandis que l'autre est mobile. Le fond mobile est relié au levier de l'arbre des freins.

Supposez que, par un procédé quelconque, l'air contenu naturellement dans ces sacs soit raréfié, la pression de l'air ambiant, devenant plus forte, fera marcher le fond mobile vers le fond fixe, et tirera le levier qui commande les sabots.

Comment, maintenant, obtient-on le vide dans les sacs qui sont placés sous les voitures?

Une conduite métallique, analogue à celle employée dans le frein à air comprimé, mais d'un diamètre plus considérable, parcourt le train de la tête à la queue, avec des accouplements en caoutchouc pour les intervalles des voitures. Cette conduite aboutit à un appareil placé sur la machine, que l'on nomme éjecteur. La conduite générale débouche au centre de cet appareil, en s'amincissant en forme de tuyère.

Si maintenant on imagine que, dans un espace annulaire fermé qui entoure cette extrémité ouverte de la conduite, on projette de la vapeur à haute pression, il se produira à l'extrémité du tube intérieur une véritable aspiration; l'air sera appelé dans toute l'étendue de la conduite et dans tous les sacs; il se précipitera aussi rapidement que possible vers

[1] L'adoption des barres de traction continues et peu élastiques est la conséquence la plus importante de l'application des freins continus.

l'éjecteur, pour se mêler à la vapeur qui l'appelle, et se répandre dans l'atmosphère par le cône évasé de la tuyère d'éjection.

Il suffit donc, pour mettre en mouvement tous les sacs, de tourner sur la machine un robinet qui lance la vapeur empruntée à la chaudière, dans l'espace annulaire dont je viens de parler. C'est là un mouvement des plus simples, parfaitement défini, qui admet la mesure et le réglage, et qui n'exige aucun effort; et, ainsi que vous le voyez, l'ensemble du système, tel qu'il a été combiné primitivement pour produire le serrage, ne comporte, pour ainsi dire, aucun mécanisme : une soupape, à la base de l'éjecteur, empêche la rentrée d'air après l'aspiration.

Le desserrage s'obtient en laissant tout simplement rentrer l'air dans la conduite générale : les sacs se desserrent sous l'action des leviers, qui forment contre-poids, et les sabots s'éloignent des roues.

L'énergie du frein peut évidemment se graduer, suivant l'intensité du jet de vapeur qui produit l'aspiration. Cette intensité, qui dépend de la pression de la vapeur et de son volume lors de son introduction dans la tuyère, est à la disposition du mécanicien, en temps ordinaire. Ce frein ne peut être appliqué évidemment que par le mécanicien, à moins qu'on n'imagine qu'une corde, parcourant le train, permette d'ouvrir le robinet moteur placé sur la machine; mais c'est une solution mécanique dont l'inefficacité a été reconnue.

Pour l'ingénieur qui ne redoute pas l'emploi de l'électricité comme intercommunication d'un bout à l'autre d'un train, le courant électrique peut produire l'ouverture de ce robinet, grâce à l'application du système connu de MM. Lartigue, Forest et Digney, destiné à effectuer à toutes distances des mouvements mécaniques limités, au moyen d'un courant électrique et des électro-aimants Hughes.

L'emploi de ce système permettrait l'application du frein de toutes les parties du train, et même, en cas de rupture d'attelage, une application au moins partielle des freins du train. C'est ce dernier système que le chemin de fer du Nord, habitué depuis quinze ans aux intercommunications électriques, a cru devoir adopter. Il a même été plus loin, et il profite de l'établissement, sur les machines, du sifflet électro-automoteur pour faire appliquer les freins par le courant électrique que le disque placé à l'arrêt envoie à ce sifflet. C'est donc le disque qui serre les freins continus, sans intermédiaire.

FREIN HARDY.

M. Hardy, de Vienne, a remplacé le sac en caoutchouc, qui est peut-être un des côtés faibles du système Smith, par une double capsule en fonte, protégeant intérieurement une membrane en cuir étanche, mobile

en son centre, fixée par ses bords, qui reçoit la pression atmosphérique et agit sur le levier du frein.

Vous remarquerez, Messieurs, que la pression du fluide dans tous les appareils du frein à vide est toujours plus faible que la pression atmosphérique, ce qui doit évidemment contribuer à éviter la fatigue des organes, d'ailleurs très simples, qu'il emploie. Il est clair que, dans ce frein, l'action motrice, pour se transmettre d'un bout à l'autre d'un train long, demande tout le temps nécessaire pour faire parcourir à l'air appelé toute la longueur de la conduite générale. On peut trouver les moyens d'atténuer beaucoup ce temps, en employant des éjecteurs à double tuyère agissant séparément sur la machine et sur le train, en calculant exactement le diamètre des conduites, en employant deux conduites, etc.; mais la transmission n'est évidemment pas aussi instantanée, au moins dans les conditions où le système est établi aujourd'hui, que dans les systèmes où chaque véhicule porte son organe particulier moteur, ou dans les systèmes à transmission électrique. On a bien pensé à mettre sous chaque voiture un réservoir de vide; mais je n'insiste pas sur une solution théorique que la pratique n'a pas consacrée, et qui présenterait d'ailleurs l'inconvénient d'une action motrice continue, inconvénient commun à tous les freins automatiques dont j'ai parlé.

Vous remarquerez, en effet, que tous les organes du frein à vide Smith sont toujours au repos, excepté au moment où l'on veut serrer les freins. — Le réglage de l'effort est facile pour le mécanicien. M. Gottschalk a très avantageusement employé ce système en Autriche : les freins Hardy, serrés par le mécanicien, plus ou moins, suivant les déclivités de la voie, permettent de descendre les pentes du Semmering avec toute sécurité. La marche du train est entièrement dans la main du mécanicien. Cette facilité de réglage fait que ces freins ne calent pas les roues, à moins qu'on ne veuille obtenir ce résultat, ce qui est toujours possible, avec des leviers suffisants.

FREIN SANDERS.

C'est justement à produire un effet automatique que M. Sanders s'est appliqué dans son frein, dont je ne dirai d'ailleurs que quelques mots.

Il emploie aussi la raréfaction de l'air, obtenue au moyen d'une pompe aspirante et d'un éjecteur; mais les sabots se trouvent précisément éloignés des roues, lorsque le vide existe dans l'ensemble de l'appareil, et c'est la rentrée d'air qui, par une combinaison ingénieuse, produit le serrage des sabots.

Ce système nécessite tous les robinets, toutes les précautions dont j'ai parlé à propos du frein Westinghouse, lorsqu'on veut isoler les voitures; mais il a la propriété de l'automaticité et une simplicité relative d'organes.

FREIN MIXTE HARDY.

Enfin, M. Hardy a pensé à employer la transmission à air pour produire le mouvement nécessaire à un rapprochement des poulies de friction, des organes tournants qui les actionnent dans les freins à chaîne. Ce système mixte, qui n'est pas appliqué, que je sache, me paraît très-intéressant et digne d'un essai et d'un examen attentif.

ESSAIS ET RÉSULTATS DE L'EXPÉRIMENTATION.

Messieurs, il me reste, après ces descriptions un peu arides et dont je m'excuse auprès de vous, à vous dire quelques mots, et c'est par là que je terminerai, des essais nombreux et de l'historique, pour ainsi dire, public de la question qui nous occupe.

Beaucoup d'ingénieurs se sont attachés à étudier les freins continus. Depuis six ou sept ans, le gouvernement anglais lui-même a chargé plusieurs fois les ingénieurs qui sont attachés à son contrôle de suivre les essais comparatifs qui ont été faits. Des expériences ont eu lieu en Angleterre, en Belgique, en Allemagne, en Autriche, en France, auxquelles ont été conviés nombre d'étrangers, et aucune question n'a peut-être été soumise à autant d'études et n'a été l'objet d'autant de controverses, depuis quelques années du moins.

Aux résultats d'essais faits dans des conditions assez souvent exceptionnelles, et qu'on pouvait considérer comme des résultats théoriques, se sont jointes les expériences pratiques des ingénieurs, qui ont appliqué sur une grande échelle l'un ou l'autre de ces systèmes, et les freins qui ont eu le plus à subir toutes ces épreuves sont incontestablement le frein Westinghouse et le frein à vide du système Smith.

A Newark, en Angleterre, sur le Midland, et dans tous les essais auxquels j'ai eu l'honneur d'assister, sur le Nord, les résultats ont été consignés avec le plus grand soin. Après des accidents survenus sur certaines lignes, de nouvelles épreuves sont venues corroborer les premières, et cet ensemble de faits ne doit pas être négligé, lorsqu'il s'agit de vous présenter un tableau fidèle de la situation actuelle.

Le nombre d'applications de l'un et de l'autre de ces systèmes dans tous les pays, et surtout en Amérique et en Angleterre, est vraiment considérable. Aujourd'hui l'usage de ces freins se répand en France, en Belgique et en Autriche. La pratique s'augmente, et les opinions se font avec le temps; suivant les besoins du trafic, suivant les profils des lignes et les goûts des ingénieurs, l'un ou l'autre de ces freins est essayé ou appliqué, et leurs succès paraissent se balancer.

En 1877, au mois d'août, le *Board of Trade,* dans une circulaire aux compagnies anglaises, leur recommandait vivement l'étude des freins con-

tinus, que les nécessités du trafic rapide semblaient devoir rendre indispensables. Le *Board of Trade* a pris la peine de résumer les conditions auxquelles il lui paraissait désirable que les freins continus dussent satisfaire, et ces conditions sont les suivantes :

1° Les freins doivent être instantanés dans leur action et pouvoir être appliqués par le mécanicien ou par les conducteurs de train;

2° En cas d'accident, ils doivent s'appliquer d'eux-mêmes et instantanément;

3° La manœuvre des freins, tant pour le serrage que pour le desserrage, doit être très facile, sur la machine comme sur chacun des véhicules du train;

4° Ils doivent être d'un usage constant et régulier pour la manœuvre de chaque jour;

5° Les matériaux employés dans leur construction doivent être durables, c'est-à-dire d'une certaine solidité, de façon à être entretenus facilement et maintenus en bon état de fonctionnement.

Toutes ces conditions sont évidemment exigibles d'un frein parfait; mais je me permettrai, — et je n'ose dire que je parle au nom des hommes pratiques qui ont pu appliquer ou suivre l'application de ces divers freins, mais je puis au moins donner une opinion personnelle qui a ses partisans, — je me permettrai, dis-je, d'ajouter à ces conditions *théoriques* les conditions *pratiques* suivantes, sans lesquelles, à mon avis, aucun frein ne peut être considéré comme parfait :

6° Le frein doit être très simple dans ses organes, doit être compris facilement par les agents du service des chemins de fer, qui, malheureusement, n'ont point encore, au moins sur le continent, une instruction suffisante pour se rendre compte du fonctionnement des mécanismes ou des dispositions compliqués;

7° L'intensité de la puissance des freins doit pouvoir être réglée à volonté, modérée et mesurée par le mécanicien sur sa machine, suivant ses besoins;

8° La pratique nous apprend que, pour éviter des inégalités d'action et d'effort qui causent vraiment des chocs, sinon dangereux, au moins désagréables, il est important de ne pas prendre une demi-mesure dans l'application des freins continus; ils doivent pouvoir s'appliquer sans inconvénient à tous les véhicules d'un train, le train pouvant être composé de vingt-quatre voitures : c'est la limite réglementaire actuelle des trains de voyageurs;

9° La source de force motrice doit être à tout instant prête à fournir son

effet; elle doit être inépuisable, c'est-à-dire qu'après un serrage il ne faut pas que la force motrice soit amoindrie et demande un certain temps pour se reconstituer;

10° Enfin, permettez-moi d'ajouter qu'il ne serait pas inutile que le frein fût économique et sous le rapport de l'installation et sous le rapport de l'entretien. C'est une condition qui intéresse et les compagnies et le public. Je dirai même qu'elle intéresse directement le public plus qu'il ne le croit lui-même; car, combien sont actionnaires de chemins de fer, l'ont été, ou le seront! En France, les contribuables ne doivent-ils pas l'être tous un jour ou l'autre!

Ces conditions diverses, théoriques et pratiques, ont des motifs et des conséquences que vous comprenez sans que j'aie besoin d'insister.

Des freins qui ne sont employés qu'en cas de détresse sont des freins exposés à être constamment dérangés.

Des freins construits avec des matériaux qui se détériorent facilement sont d'un mauvais usage.

Des freins qui ne sont pas facilement compris par le personnel risquent de donner lieu à des arrêts dans le service, très préjudiciables à la sécurité, et qui peuvent quelquefois faire des freins continus un remède pire que le mal qu'on voulait éviter.

En marche, être obligé de serrer sans mesure et à outrance un frein, quand, par exemple, on n'a besoin que d'un ralentissement plus ou moins prolongé, est un inconvénient grave : la reprise, après un arrêt un peu violent, est toujours difficile et donne lieu à des secousses plus ou moins vives. C'est aussi l'inconvénient que présenterait la présence de freins dans une partie du train seulement, en tête, par exemple; un arrêt brusque causerait une irruption violente des voitures de queue vers la tête du train, et des chocs en avant et en arrière que chacun de vous connaît et qu'on ne peut empêcher qu'en agissant sur toutes les roues à la fois.

De même, si l'action du frein devait être trop lente à se propager d'un bout à l'autre du train, le même inconvénient se produirait : il faut donc que cette action soit aussi rapide que possible.

Un système de freins continus dont la force motrice s'épuise et demande un certain temps pour se reconstituer, empêcherait des arrêts successifs fréquents ou des manœuvres dans une gare.

Un frein trop coûteux et de premier établissement et d'entretien effraye ceux qui veulent l'essayer ou lasse ceux qui l'emploient.

Ces diverses conditions sont remplies à divers degrés par les freins que j'ai eu l'honneur d'examiner devant vous; elles doivent être pesées mûrement, et c'est justement ce qui explique les hésitations des ingénieurs, qui, dans une question aussi nouvelle, n'ont pu se faire une religion unique,

et la diversité de leur choix. Ils chercheront à s'éclairer pratiquement, loin que les considérations théoriques soient les seules qui les déterminent.

EXPÉRIENCES PRIVÉES.

Après les expériences officielles dont je vous ai parlé, des expériences particulières ont été faites, tant en Angleterre qu'ailleurs. En ce moment même, M. le capitaine Douglas Galton fait une série d'essais des plus intéressants, relatifs au mode d'action des sabots sur les roues.

Une question a été fort controversée, c'est celle de savoir si les roues devaient être instantanément calées ou ne point être calées. La question, théoriquement traitée en France, examinée pratiquement en France, en 1853, au chemin de fer de Lyon, par M. Poiret, à propos des essais des freins Cochot, et maintenant sur le London Brighton and South-Coast, par des expériences directes, paraît être résolue; il semble prouvé qu'il est de toute importance d'obtenir le plus instantanément possible une pression maxima des sabots sur les roues, la plus voisine possible de celle qu'il faut exercer pour le calage, mais sans toutefois dépasser cette limite et sans arriver à maintenir les roues calées, c'est-à-dire glissant sur le rail pendant toute la durée de l'arrêt.

Le calcul indique aussi, et l'expérience confirme, que l'effort à exercer pour obtenir, à une grande vitesse, l'arrêt le plus rapide, ne doit pas dépasser une certaine proportion du poids porté par les roues. Au delà, les roues glissent sur les rails sans que le frottement qui s'opère entre le rail et la roue conserve sa valeur première; et ce frottement diminuant très rapidement, lui qui est, après le calage des roues, la cause unique de l'arrêt, la longueur parcourue pendant l'arrêt est plus grande : l'énergie du frottement diminue avec la vitesse de translation du train, et par conséquent à chaque vitesse doit correspondre un maximun d'effort qu'il ne faudrait pas dépasser pour arriver à obtenir un maximum de rapidité dans l'arrêt.

C'est ainsi que M. Westinghouse emploie sa «*reducing valve*», pour proportionner à tout instant l'intensité d'action de son frein au maximum d'effet utile qu'on doit en attendre. Il est clair que dans les freins dont la puissance retardatrice peut être graduée facilement à la volonté du mécanicien, tous les desiderata de la théorie pourront être facilement obtenus dans la pratique. La nature des sabots joue un rôle important qui est pratiquement connu : la fonte est absolument imposée par l'emploi des freins continus.

Je ne puis qu'envoyer mes sincères encouragements aux expériences que dirige le capitaine Douglas Galton, et dont les résultats ne nous sont point encore connus complètement.

EFFETS DES FREINS CONTINUS.

Il me reste à vous parler des résultats pratiques du service des freins continus. M. Georges Marié, attaché à la compagnie de Lyon, a étudié récemment cette question, et, dans un calcul qu'il a établi, il nous donne les longueurs minima d'arrêt des trains munis de freins continus théoriques de puissance maximum. Cette longueur d'arrêt dépend évidemment du poids du train, de l'état des rails, et par conséquent du coefficient de frottement, qui est d'autant plus faible que le temps est plus mauvais et que les rails sont plus glissants. Il a dressé un tableau correspondant à ses calculs.

Pour une vitesse de 60 kilomètres, par exemple, qui correspond à une vitesse de 17 mètres par seconde, la longueur d'arrêt d'un train serait théoriquement :

Par un très mauvais temps, de........	237 mètres.
Par un temps moyen, de.............	118
Par un beau temps, de.............	79
Par un temps exceptionnel, de........	59

Pour une vitesse de 80 kilomètres, ces longueurs d'arrêt seraient, dans les mêmes circonstances : 420 mètres; 210 mètres; 140 mètres et 105 mètres.

Je dois dire, Messieurs, que ces résultats ne sont encore atteints complètement et en toutes circonstances par aucun des freins que nous avons étudiés. Je ne dis point qu'on ne les atteindra pas, mais j'en doute. Néanmoins, on s'en est rapproché assez pour être sûr qu'on peut, en toutes circonstances et avec une vitesse inférieure à quatre-vingts kilomètres à l'heure, arrêter un train en moins de 400 mètres.

Le frein Westinghouse se tient toujours au-dessous de cette limite, incontestablement, et le frein électrique ne lui a pas été comparé : son action doit être au moins aussi rapide. Dans plusieurs circonstances, le frein à vide a permis aussi des arrêts qui étaient bien au-dessous de cette limite, avec des vitesses analogues. Il n'a point dit son dernier mot.

En général, et si l'on tient moins compte du cas d'accidents que de celui du service courant, des différences aussi légères dans la rapidité de l'arrêt perdent beaucoup de leur importance.

L'introduction des freins continus dans l'exploitation des chemins de fer, pour les trains omnibus comme pour les trains express, amènera de grands avantages. Les arrêts rapides, dont vous pouvez juger sur les trains de ceinture, font gagner beaucoup de temps. Le personnel n'est point occupé, au moment de l'arrêt, à serrer ou desserrer les freins : il est tout entier au service des voyageurs; la durée du séjour dans les gares peut être

réduite. J'ose dire que, grâce à l'extension des freins continus, les règles imposées par le service du contrôle des chemins de fer, pour l'intercalation de freins dans la composition des trains, seront aussi modifiées avec le temps.

En Angleterre, la question a paru tellement importante, qu'une proposition a été faite, au mois de juin dernier, pour forcer par un acte du Parlement les compagnies à rendre compte périodiquement de l'emploi des freins continus dans leur exploitation; elles doivent donner des détails très techniques et très circonstanciés de leurs essais et de leurs applications.

C'est aller un peu loin que d'édicter une loi pareille; mais ceci prouve que la question est vraiment envahissante. Néanmoins il reste beaucoup de progrès à faire. Les trains de marchandises, qui, malheureusement, ont besoin de freins énergiques, doivent en recevoir; et la question sera d'une étude plus complexe, à cause du grand nombre de véhicules qui les forment; de là, nécessité d'une entente entre les compagnies, à cause des échanges des divers matériels et de leur diffusion sur les diverses lignes; elle demandera des études sérieuses auxquelles nous devons convier tous ceux que le sujet intéresse.

En terminant, Messieurs, je dois m'excuser auprès des personnes qui ont étudié ou imaginé des systèmes de freins continus, sans que j'en aie fait mention ici; je dois m'excuser et me faire pardonner des oublis qui n'étaient pas toujours volontaires, mais qu'il était impossible d'éviter, dans un exposé nécessairement limité. Ainsi que je vous l'ai dit, nous devons des remerciements même aux inventeurs malheureux, qui chaque jour nous proposent des systèmes de freins continus inapplicables; l'adage : *Genus irritabile vatum,* s'applique admirablement aux poètes, aux prophètes, et par conséquent aux inventeurs, qui sont souvent l'un et l'autre.

Permettez-moi, à ce sujet, de vous donner une idée des efforts de certains esprits vers ce but et des résultats auxquels peuvent conduire ces efforts, lorsqu'ils ne sont pas appuyés sur une connaissance, même sommaire, du service des chemins de fer, et de vous citer une anecdote qui m'est arrivée à moi-même.

Il y a quelques années, un inventeur, frappé de l'utilité des freins continus, est venu très sérieusement me proposer le système suivant :

Les banquettes de toutes les voitures du train reposaient sur des supports qui pouvaient permettre de faire tomber toutes ces banquettes sur le sol du wagon, par le seul mouvement d'une tringle courant le long du train et pouvant déclencher tous ses supports à la fois. Les banquettes, en descendant, s'appuyaient sur l'extrémité d'un levier qui, par le mécanisme ordinaire, rapprochait les sabots des roues. Les voitures étaient supposées contenir des voyageurs assis sur les banquettes, et le mécanicien ou le conducteur, lorsqu'il apercevait le danger, n'avait qu'à tirer la tringle commandant le mouvement de toutes les banquettes, et à l'instant elles s'affaissaient *sous*

le poids des voyageurs, qui servait ainsi lui-même à rapprocher les sabots des roues et à arrêter le train. Les voyageurs se relevaient de leur chute profonde et de leur surprise, et le frein était desserré tout naturellement.

Cette disposition ingénieuse, dont vous voyez d'ici l'effet, n'a, vous le pensez bien, pas été appliquée.

Mais si nous devons des remerciements, comme je vous l'ai dit, à tous ceux que la question préoccupe, et qui ne réussissent pas, nous en devons surtout à ceux qui s'en occupent sérieusement, et je vous demanderai à terminer cette séance en vous citant les noms des hommes qui, en Angleterre, où la question a été mûre avant de l'être sur le continent, se sont dévoués depuis six ans à la propagation de l'application des freins continus.

Les ingénieurs du contrôle des chemins de fer, en Angleterre, doivent être cités les premiers; ce sont MM. le capitaine Tyler (sir Henry), et le colonel Yolland.

Les ingénieurs anglais, français et étrangers, qui ont suivi avec tant d'intérêt l'étude de ces freins, méritent aussi notre reconnaissance, et parmi eux je dois citer :

M. Tomlinson, du Métropolitan; M. Stirling, du Great Northern; M. Allport, du Midland, qui est toujours en avant quand il s'agit de progrès; M. Belpaire, de l'État Belge.

J'en oublie, et des meilleurs. Mais les Français me pardonneront cet oubli, qui n'a d'autre but que d'épargner leur modestie.

Ensuite, nous ne devons point négliger les noms des inventeurs qui, par amour du progrès et par un sentiment d'intérêt bien justifié, s'occupent si ardemment de cette question : M. Achard, qui a consacré sa vie à ces intéressantes recherches; M. Westinghouse, M. Yeomans, directeur de la compagnie du Vacuum Brake, MM. Hardy, successeurs heureux de MM. du Tremblay et Martin.

Enfin, Messieurs, je dois, en terminant, remercier mes éminents collègues qui ont bien voulu couvrir mes hardiesses de leur patronage amical, et vous adresser également tous mes remerciements pour l'empressement que vous avez bien voulu mettre à venir écouter un sujet et un orateur aussi arides. L'attention que vous m'avez fait l'honneur de prêter à des explications encore incomplètes est une preuve bien évidente du prix qu'attache l'opinion publique aux études entreprises sur les freins continus et aux efforts de tous ceux qui s'en occupent; son concours est le meilleur encouragement qu'ils désirent et la plus précieuse récompense que puissent recevoir leurs efforts. (Applaudissements.)

M. Forquenot, *président*. Mesdames et Messieurs, vous avez entendu et

suivi avec intérêt, comme nous, les développements que M. Banderali vient de donner à la question si intéressante qu'il a traitée. Je n'ai pas besoin de vous dire que le bureau tout entier se joint à l'assemblée, pour les remerciements que, par vos applaudissements, vous avez adressés à l'orateur. (Nouveaux et nombreux applaudissements.)

La séance est levée à 3 heures 40 minutes.

PALAIS DU TROCADÉRO. — 7 AOÛT 1878.

CONFÉRENCE

SUR LES TRAVAUX PUBLICS

AUX ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE,

PAR M. MALÉZIEUX,

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES.

BUREAU DE LA CONFÉRENCE.

Président :

M. Tresca, membre de l'Institut, sous-directeur du Conservatoire des Arts et Métiers, Président du Congrès du Génie civil.

Assesseurs :

MM. Bazaine (Achille), ingénieur civil.
Boulé, ingénieur en chef des ponts et chaussées.
Boutillier, ingénieur des ponts et chaussées.
Gariel, ingénieur des ponts et chaussées.
Guibal, inspecteur général des ponts et chaussées, en retraite.
Hans, ingénieur des ponts et chaussées (Belgique).

La séance est ouverte à 2 heures.

M. Tresca, *président*. Messieurs, je ne crois pas avoir autre chose à faire que de prier M. Malézieux de nous présenter la communication qu'il a préparée sur les travaux publics aux États-Unis et de l'écouter avec la religieuse attention que vous allez lui prêter vous-mêmes.

M. Malézieux a la parole.

M. Malézieux. Messieurs, la collection des dessins et modèles envoyés

des États-Unis pour l'Exposition universelle de 1878 ne donne et ne pouvait donner qu'une idée très imparfaite des travaux publics qui s'exécutent dans ce grand pays. Plus que beaucoup d'autres, cette partie de l'Exposition a besoin de commentaires, et l'on pourrait croire que M. le Ministre de l'agriculture et du commerce l'avait particulièrement en vue lorsque l'arrêté du 10 mars a institué les conférences et les congrès dont le palais du Trocadéro est en ce moment le siège.

On m'a demandé de remplir ici le rôle d'interprète; je vais le faire de mon mieux.

Tout d'abord les limites assignées à ces conférences m'obligent à circonscrire mon programme. Dans le cadre des travaux publics, je ne considérerai que les grandes voies de communication, c'est-à-dire les voies navigables et les chemins de fer. Je laisserai de côté l'exploitation, pour ne m'occuper que de la construction.

En ce qui concerne les voies navigables, je n'aurai rien à dire des canaux; car, bien qu'on en projette présentement, on n'en a pas construit depuis longtemps. Je ne m'occuperai conséquemment que de l'amélioration des rivières.

En ce qui concerne les chemins de fer, je parlerai des ponts de grande ouverture.

§ 1er.

DES VOIES NAVIGABLES AUX ÉTATS-UNIS.

I. — IDÉE GÉNÉRALE DES VOIES EXISTANTES.

Tout le monde sait que le bassin du Mississipi, compris entre la chaîne des monts Alleghanys et celle des montagnes Rocheuses, constitue environ la moitié des États-Unis;

Que le versant oriental des Alleghanys ne présente, le long de l'Atlantique, qu'un étroit espace dans lequel la colonisation fut à peu près confinée jusqu'il y a un siècle;

Et que, du côté opposé, à l'ouest des montagnes Rocheuses, le continent forme un plateau accidenté qui a, sous le 41e parallèle [1], près de 2,000 kilomètres de largeur et plus de 2,000 mètres d'altitude moyenne.

Jusqu'en 1847, époque de la découverte de l'or en Californie, il n'y avait guère que des pionniers qui se fussent avancés au delà du Mississipi et du Missouri, dans cette prairie qui s'élève en pente douce, sur 800 kilomètres de distance, jusqu'au pied des montagnes Rocheuses. Aujourd'hui l'on peut dire que le centre de gravité de l'Union américaine se trouve sur

[1] Celui de New-York, de Madrid, de Naples, de Constantinople.

le Mississipi, entre Saint-Louis et Chicago. C'est là que sont groupés les États producteurs de grains par excellence. Le problème fondamental des voies de communication pourrait presque se résumer d'un mot : relier Chicago avec le littoral de l'Atlantique, d'où l'on exporte vers l'Europe les produits qui ne sont pas consommés sur place.

A ce problème se rattachent les trois grandes lignes navigables des États-Unis, savoir :

1° La ligne de Chicago à Montréal par les lacs et le Saint-Laurent;

2° La ligne qui, arrivée à l'extrémité orientale du lac Érié, emprunte le canal Érié, puis l'Hudson jusqu'à New-York;

3° Enfin le Mississipi, à l'embouchure duquel les navires prennent la mer pour gagner les grands ports de l'Atlantique : Baltimore, Philadelphie, New-York, Boston.

Je vais entrer dans quelques détails sur chacune de ces lignes, et j'ajouterai quelques mots sur l'affluent le plus intéressant du Mississipi, sur l'Ohio.

1° *La ligne canadienne.*

Personne n'ignore que les eaux du lac Érié se déversent par le Niagara dans le lac Ontario. Il y a longtemps que ces deux lacs sont réunis par un canal navigable, le canal Welland. Il avait été construit pour des navires de 500 tonnes. On est en train de l'agrandir de manière qu'il livre passage aux navires de 1,000 tonnes qui naviguent sur les lacs.

Six canaux ou dérivations, dont la longueur varie de 1,200 mètres à 18 kilomètres, ont été, depuis longtemps aussi, construits au droit des rapides du Saint-Laurent, en amont de Montréal. Ces canaux servent à tous les bateaux montants et, à la descente, aux bateaux chargés de céréales; mais les trains de bois et les bateaux à vapeur descendent par le lit même du fleuve. Il est question de les agrandir comme le canal Welland.

C'est le gouvernement canadien qui a construit tous ces canaux. Il y a consacré une somme de 100 millions de francs environ. On estime que 90 p. 0/0 des marchandises transportées par cette voie viennent des États-Unis.

Au-dessous de Montréal, on s'occupe d'améliorations locales tendant à rendre le fleuve praticable en toute saison pour les paquebots d'Angleterre.

2° *Le canal Érié.*

Terminé en 1826, le canal Érié a donné, pendant plus d'un quart de siècle, à New-York une supériorité marquée sur tous les autres ports de l'Atlantique. Mais cet état de choses s'est modifié, depuis une douzaine

d'années surtout, par suite de l'établissement des chemins de fer. Ces voies nouvelles ont, dit-on, transporté, en 1876, 83 p. o/o des produits expédiés de l'Ouest, tandis que le canal Érié en transportait 17 p. o/o seulement.

Ce canal avait été construit d'abord avec un mouillage de $1^{m},22$, pour des bateaux portant 76 tonnes. On l'a bientôt agrandi en doublant les écluses, en portant le mouillage à $2^{m},13$, et le chargement des bateaux à 240 tonnes. Cet agrandissement fit baisser de 50 p. o/o, conformément aux prévisions des ingénieurs, le prix des transports.

3° *Le Mississipi.*

Avant l'établissement des chemins de fer, la Nouvelle-Orléans était, grâce au Mississipi, le New-York du Sud.

Ce fleuve est navigable jusqu'à Saint-Paul, sur près de 4,000 kilomètres.

Mais, de Saint-Paul à Saint-Louis, la navigation est précaire à cause du manque d'eau et des glaces. Le mouillage s'y réduit parfois à 1 mètre. — On a terminé depuis 1870 la rectification des deux seuls rapides que présente cette partie du fleuve, à Keokuk et à Rock-Island : à Keokuk, on a construit un canal latéral; à Rock-Island, on s'est borné à creuser dans le lit rocheux du fleuve un chenal de 60 mètres de largeur, dont le plafond est à $1^{m},22$ en contre-bas de l'étiage.

De Saint-Louis à la Nouvelle-Orléans, sur une distance de près de 2,000 kilomètres, la navigation n'est que rarement gênée par les glaces ou les basses eaux. Durant les neuf années écoulées de 1868 à 1876, la profondeur d'eau minima a varié *en moyenne* comme l'indique le tableau suivant :

	Jours.
Moins de $1^{m},22$ pendant	
Plus de $1^{m},22$ et moins de $1^{m},83$	5
Plus de $1^{m},83$ et moins de $2^{m},44$	52
Plus de $2^{m},44$, et moins de $3^{m},05$	103
Plus de $3^{m},05$	69
	136
	365

Les navires venant de la mer dépassent rarement la Nouvelle-Orléans. Mais, quel que soit leur tirant d'eau, ils peuvent en tout temps remonter jusqu'à Vicksburg et parfois jusqu'à Memphis, à 1,200 kilomètres de la Nouvelle-Orléans.

Depuis la Nouvelle-Orléans jusqu'à la pointe amont du delta d'embouchure, sur une longueur de 195 kilomètres, la profondeur d'eau est de 30 mètres environ !

Les diverses branches entre lesquelles le fleuve se divise présentent toutes, à leur extrémité, une barre sur laquelle le mouillage naturel est inférieur à 5 mètres. Tant que la navigation marchande se fit par des navires de 400 à 500 tonnes, tirant de 3 mètres à 4^{m},25 d'eau, les barres d'embouchure du Mississipi ne constituèrent pas des obstacles sérieux. Mais, depuis un quart de siècle environ, le commerce maritime emploie couramment des navires de 1,000 à 5,000 tonnes, dont le tirant d'eau est de 16 à 23 pieds (de 5 à 7 mètres) : l'expérience a mis hors de doute l'économie qu'ils présentent, surtout pour de longs voyages. Dès lors la Nouvelle-Orléans, comme Nantes, n'a plus guère été qu'un port de cabotage.

Pendant plusieurs années et jusqu'en 1875, le gouvernement fédéral a dépensé 1 million de francs environ en dragages annuels sur la branche *du sud-ouest* : on obtenait ainsi un chenal de 15 à 20 pieds de profondeur (de 4^{m},57 à 6^{m},10) sur une largeur de 15 à 60 mètres. Mais c'était là un résultat insuffisant et doublement précaire, certaines tempêtes comblant parfois le chenal du jour au lendemain, et les allocations budgétaires pouvant faire défaut [1].

4° *La rivière Ohio.*

L'Ohio baigne, par la partie supérieure de son cours, des régions carbonifères dont la superficie est très supérieure à ce que possèdent en ce genre la Grande-Bretagne, la France et la Belgique réunies. Pittsburg est le centre du commerce de charbon qui se fait dans la direction de l'ouest et du sud-ouest. On y a embarqué sur l'Ohio, en 1876, environ 2,500,000 tonnes de charbon.

Il y a 1,550 kilomètres à peu près de Pittsburg à Cairo, embouchure de l'Ohio dans le Mississipi. Beaucoup moins embarrassé par les glaces que le haut Mississipi et le Missouri, l'Ohio est sujet à de plus grandes crues qu'aucun autre des affluents du fleuve : l'eau s'élève à 19 mètres de hauteur au-dessus de l'étiage à Cincinnati. — Les toues de charbon ont besoin d'un mouillage de 1^{m},83. En amont de Cincinnati, la profondeur descend parfois à 2 ou 3 pieds. En aval, c'est-à-dire sur une distance de 829 kilomètres, des steamers plus ou moins grands peuvent généralement naviguer pendant onze mois de l'année.

Le canal ou dérivation de Louisville à Portland, construit pour éviter des rapides, est complètement entre les mains du Gouvernement depuis 1874. Il lui a coûté 16,500,000 francs. En réduisant de 2 fr. 50 cent. à 50 centimes par tonne le droit de passage, on a rendu un service considérable à la navigation de l'Ohio.

[1] Il est inutile de rappeler qu'on peut trouver les renseignements les plus sûrs et les plus complets sur le Mississipi dans le Rapport de MM. Humphreys et Abbot. Cette œuvre monumentale, imprimée par ordre du Congrès en 1861, a été réimprimée en 1876 avec des additions.

Le prix de transport des charbons de Pittsburg à Louisville ou à la Nouvelle-Orléans est de 1 à 2 millimes par tonne et par kilomètre. Il n'y a pas de chemin de fer au monde qui puisse transporter à un prix pareil. Aussi l'Ohio est-il la seule voie qui permette d'alimenter de charbon les centres de population établis sur les bords du Mississipi en aval de Saint-Louis, les bateaux à vapeur du fleuve et ceux qui prennent la mer à l'embouchure.

Jonctions projetées.

Au nombre des jonctions qu'on projette d'opérer entre certaines voies navigables, il y a lieu de remarquer les suivantes :

1° Canal à grande section du lac Champlain au Saint-Laurent (Caughnawaga);

2° De Troy à Oswego (lac Ontario) par le lac Onéida;

3° De la rivière James au Kanawha (ou de Richmond à l'Ohio);

4° Du Tennessee au Chattahoochee (par Macon);

5° De Rock-Island à Hennepin.

II. — DE L'EXÉCUTION DES TRAVAUX.

On peut améliorer les rivières, au point de vue de la navigation, par des dragages : on approfondit leur lit, on l'élargit, on le débarrasse des écueils; le but poursuivi s'atteint ainsi directement.

On peut l'atteindre indirectement en rétrécissant le lit par des digues longitudinales qui concentrent les eaux basses.

En troisième lieu, on peut obtenir une amélioration beaucoup plus radicale en maîtrisant par des barrages le cours des eaux, en diminuant la vitesse en même temps qu'on augmente le mouillage, en transformant enfin la rivière en une série de biefs étagés comme ceux d'un canal.

A. — *Barrages.*

Les Américains n'ont pas de barrages mobiles, bien qu'ils en aient de fixes et qu'ils disposent de plusieurs rivières canalisées. Mais la question est pour eux à l'ordre du jour; ils viennent étudier ce que nous faisons en France, très anxieux de savoir comment nos systèmes variés pourront s'appliquer à l'Ohio notamment, à des cours d'eau beaucoup plus larges que nos rivières de France, où les crues sont beaucoup plus hautes et plus subites, où l'on ne peut enfin compter que sur un personnel très restreint pour les manœuvres. C'est dans ces conditions plus complexes,

plus difficiles, que les ingénieurs américains étudient présentement le problème des barrages mobiles. Nul doute que leur esprit d'invention ne s'y donne carrière et que quelque jour, à quelque nouvelle exposition internationale, ils ne nous rendent avec usure les enseignements que la France est heureuse de leur fournir aujourd'hui [1].

Mettant donc les barrages de côté, ne cherchons en Amérique que des engins de dragage et des exemples de chenaux rétrécis par des digues.

B. — *Engins de dragage.*

Drague à cuiller. — Bien qu'il y ait des chaînes à godets aux États-Unis, l'appareil le plus communément employé dans les rivières et les canaux est une drague *à cuiller et à manche dirigé.* On avait inutilement cherché en Europe, à plusieurs époques, à résoudre le problème de la direction de ce manche, qui a jusqu'à 10 et 12 mètres de longueur. Il s'appuie et oscille sur un rouleau dont l'axe porte une roue reliée par un câble avec les deux extrémités du manche : un seul homme le manie aisément. Cet engin, pour lequel les Américains ont une préférence peut-être trop exclusive, pourrait rendre des services en France pour les dragages de sujétion et de précision.

Drague à mâchoires. — La *drague à mâchoires* est un appareil dont l'idée mère appartient encore à l'Europe, mais dont les Américains seuls ont su faire un engin pratique, précis, puissant et commode. Le point délicat était celui-ci : exercer d'en haut, au moyen d'une chaîne, une pression de haut en bas, qui oblige à pénétrer dans le sol et à se rejoindre, en emprisonnant la matière détachée, deux coquilles montées sur une charnière horizontale commune. On a résolu ce problème en faisant tourner, au moyen de la chaîne qu'on tire, un arbre inférieur à axe fixe qui, par deux chaînes de rappel, tire à lui une traverse supérieure; la descente forcée de cette traverse provoque la fermeture de la caisse demi-cylindrique.

Râteaux. — On emploie pour l'entretien du haut Mississipi un râteau qui permet de porter, à très peu de frais, de 1 mètre à $1^m,30$ environ le mouillage de certains hauts-fonds sablonneux. On s'en trouve si bien que des bateaux ordinaires du commerce demandent parfois à traîner eux-mêmes, en l'attachant à l'arrière, le râteau en question.

Le bateau excavateur *le général Mac-Alester* est représenté, comme les engins précédents, au palais du Champ de Mars [2].

[1] On vient de commencer un barrage mobile près de Pittsburg, en un point où l'Ohio a 366 mètres de largeur. La passe navigable aura 120 mètres, l'écluse $33^m,55$ d'ouverture et 183 mètres de longueur entre les portes.

[2] Cet appareil, perfectionné par le major Howell, s'est perdu en mer dans le cours de l'hiver dernier, tandis qu'il se transportait vers l'embouchure de la rivière Sabine.

Enlèvement de roches sous-marines. — Une nouvelle méthode a été appliquée à San-Francisco, en 1870, et depuis à New-York, pour l'enlèvement de grandes masses de rocher sous-marin. Voici en quoi elle consiste :

On commence par établir sur le sommet de la roche un batardeau d'enceinte, à l'intérieur duquel, après avoir épuisé, on fore un puits descendant jusqu'au niveau du dérasement projeté. Partant de là, on ouvre des galeries rayonnantes combinées avec des galeries concentriques ou bien des galeries qui se coupent à angle droit, en ménageant des pieds-droits et une croûte d'épaisseur suffisante pour qu'on ne soit pas envahi par les eaux. On excave ainsi toute la masse; on l'excava si bien à San-Francisco qu'on finit par substituer des poteaux en bois aux piliers qui avaient été réservés. Finalement on distribue des barils de poudre à l'intérieur, on laisse entrer l'eau, puis, à l'heure de la haute mer, on provoque, à l'aide d'un fil électrique, une explosion générale et simultanée.

En fixant, dans ce système, le plan de dérasement un peu plus bas que le niveau requis pour le mouillage, on obtient une fouille un peu plus profonde, où les débris peuvent en partie se loger, ce qui dispense d'un ramassage parfois coûteux.

Au nombre des procédés de dérochement sous-marin figure toujours celui qui consiste à forer des trous dans lesquels on loge des cartouches. On y emploie des perforatrices mues par la vapeur et installées sur un échafaudage volant.

Dans un modèle (non exposé) que m'a montré, il y a quelques semaines, M. Julius H. Striedinger (un des ingénieurs qui ont travaillé, sous la direction du général Newton, au dérochement de Hell-Gate, près New-York), l'échafaudage n'est pas amarré: il est fixé sur place par quatre pieux à coulisses qui le portent, qu'on fait descendre ou monter à l'aide de crémaillères, et qui peuvent ainsi pénétrer dans le sol. Quand on veut déplacer l'appareil, un ponton spécial s'avance, s'engage entre les pieux, et, ceux-ci étant soulevés, supporte l'échafaudage, qu'il peut transporter ailleurs.

Ce mode d'immobilisation sur place par des pieux, déjà employé dans les dragues à cuiller et à mâchoires, dispense des longues cordes d'amarrage qui sont souvent si gênantes pour la circulation des bateaux ou navires.

C. — *Digues de rétrécissement : leur emploi pour l'amélioration des embouchures des rivières.*

1° RIVIÈRES TRIBUTAIRES DES GRANDS LACS DU NORD.

Les Américains ont amélioré diverses embouchures de rivières au moyen de digues de rétrécissement. Combiné avec des dragages, ce système a

permis de créer une quarantaine de ports à l'embouchure des cours d'eau qui se jettent dans les grands lacs du Nord.

La barre qui obstruait ces cours d'eau devait être principalement produite, comme à l'embouchure des fleuves de la Baltique, par l'action des vagues sur les matières meubles de la plage. On conçoit donc que l'on ait pu, au moyen de jetées parallèles prolongées jusqu'à une assez grande distance du rivage, soit prévenir pour l'avenir la reformation du cordon littoral, soit arrêter pour un temps plus ou moins long les matières meubles qui se meuvent le long de la côte, comme on l'a fait, depuis 1824, à l'embouchure de l'Oder.

Voici quelques exemples des approfondissements obtenus sur la barre :

	PROFONDEUR	
	PRIMITIVE.	EN 1875.
	mètres.	mètres.
A Chicago	0,90	4,57
A Milwankee	2,13	5,18
A Racine	0,60	4,27
A Michigan City	0,30	3,66
A Érié	0,90	4,57
A Buffalo	0,20	4,57

2° LE MISSISSIPI.

Une entreprise bien autrement considérable est en cours d'exécution depuis 1875, à savoir l'amélioration de l'embouchure du Mississipi.

On s'est demandé d'abord si l'on construirait un canal latéral, c'est-à-dire un canal faisant communiquer directement avec la mer la partie profonde du fleuve, ou bien si l'on chercherait à faire disparaître une des barres. Les ingénieurs du Gouvernement ont dressé un projet de canal et l'ont présenté, en 1874, comme la seule solution précise et certaine du problème. Ce canal, de 11 kilomètres de longueur, se détachant du fleuve près du fort Saint-Philip, à 60 kilomètres de l'embouchure, se dirigerait vers l'Est en ligne droite et aboutirait au sud de l'île *au Breton.* Mais l'autre solution a trouvé aussitôt des partisans passionnés. On s'est récrié contre l'idée de soumettre aux sujétions d'un canal commandé par une écluse un mouvement commercial tel que celui auquel on s'attend ; on a réclamé le bénéfice d'une voie navigable largement ouverte et praticable en tout temps. Bref, on a dit et écrit sous toutes les formes ce qui fut dit et écrit en France lorsque la même question fut soumise, à propos de

l'embouchure du Rhône, à une commission instituée par décision ministérielle du 14 décembre 1843, et que des enquêtes furent ouvertes sur une étude comparative de M. l'ingénieur Surell.

Dans cette situation, le président des États-Unis a nommé, lui aussi, une commission qui commença par venir visiter en Europe tous les travaux analogues et qui opta, comme on l'avait fait en France en 1852, pour l'amélioration en lit de rivière. Il ne s'agissait pas ici d'une faible somme de 1,500,000 francs, risquée à titre d'expérience, comme celle qui fut dépensée pour le Rhône en vertu du décret du 15 janvier 1852. Le projet d'endiguement que dressa la commission américaine montait beaucoup plus haut. Mais les partisans de ce système, à la tête desquels était M. James B. Eads, de Saint-Louis (Missouri), offraient de l'exécuter à leurs risques et périls! Cette offre a été acceptée par le Congrès le 3 mars 1875, et, dès le mois de juin suivant, M. Eads était à l'œuvre.

Voyons comment se posait la question technique, quels sont les engagements pris de part et d'autre, quels travaux ont été exécutés, quels résultats ont été obtenus jusqu'ici.

État des lieux. — Le Mississipi se ramifie à une vingtaine de kilomètres de la mer; il se divise en trois passes ou branches qui s'allongent d'une manière continue, tandis que les barres d'embouchure s'avancent au large, par l'effet du dépôt des vases. Le fleuve en charrie annuellement environ 190 millions de mètres cubes ou plus de dix fois l'apport du grand Rhône.

La branche du Sud, qu'on a choisie pour l'améliorer, n'a guère que 700 pieds (200 mètres) de largeur moyenne. L'épaisseur de sa barre, mesurée suivant l'axe du chenal, entre les deux courbes de $6^{m},70$ de profondeur, était de 3,600 mètres au mois de juin 1875; sur 800 mètres environ, la profondeur d'eau n'excédait guère $2^{m},50$; aussi ce bras du Sud n'était-il que peu ou point fréquenté par la navigation maritime.

J'ajouterai que, dans l'intervalle de 1838 à 1874, durant une période de trente-cinq ans, la barre s'était avancée d'environ 30 mètres en moyenne par an, tandis que l'avancement annuel était de 90 mètres pour la barre d'embouchure de la branche du Sud-Ouest.

Convention. — M. Eads a été autorisé à exécuter les jetées qu'il croirait propres à provoquer l'ouverture d'un large et profond chenal à travers la barre d'embouchure du bras du Sud. L'intervalle à ménager entre les jetées devait ne pas être inférieur à 700 pieds.

Le permissionnaire s'est engagé d'abord à obtenir les résultats suivants:

1° Dans l'espace de trente mois, à dater du 3 mars 1875, une profondeur d'eau de 20 pieds ($6^{m},10$) au moins, cette profondeur étant comptée en contre-bas du niveau moyen que la haute mer présente quand le fleuve est à l'étiage;

2° Un approfondissement ultérieur de 2 pieds (61 centimètres) au

moins dans le cours de chacune des trois années suivantes, la profondeur totale devant être ainsi portée à 26 pieds ($7^{m},93$).

Si l'une et l'autre de ces conditions ne sont pas remplies, l'autorisation devient nulle et non avenue.

Dans l'hypothèse contraire, et la partie engagée se poursuivant, M. Eads se fait fort de porter la profondeur d'eau à 30 pieds ($9^{m},15$), moyennant quoi le Gouvernement s'engage à lui payer : d'une part, une somme de 5,250,000 dollars (26,250,000 fr.) pour la valeur des jetées et autres ouvrages qui deviendront la propriété de l'État, d'autre part une somme annuelle de 100,000 dollars pour l'entretien desdits ouvrages depuis le moment où la profondeur de 20 pieds aura été obtenue jusqu'au jour de la livraison définitive des travaux.

Les payements seront opérés par acomptes de 500,000 dollars, à mesure que la profondeur minimum atteindra successivement 20, 22, 24 pieds. . ., sur des largeurs respectives et minima de 200 pieds, puis 200, 250, 300 et 350. Le Gouvernement retiendra, à titre de garantie, le dernier million de dollars pendant dix ans et 500,000 dollars pendant dix autres années. D'ailleurs le délai de garantie cesserait de courir, et la subvention annuelle de 100,000 francs cesserait d'être payée par l'État pendant toute lacune durant laquelle le chenal aurait eu moins de 30 pieds de profondeur ou de 350 pieds ($106^{m},75$) de largeur.

Enfin le Gouvernement aura la faculté de prendre, à toute époque, livraison des jetées en remettant au concessionnaire la somme retenue pour garantie et le dégageant de toute responsabilité.

L'acte du Congrès du 3 mars 1875 laisse explicitement à M. Eads liberté pleine et entière en ce qui concerne le tracé des jetées, leur composition et leur mode d'exécution. Mais il stipule que ce seront des ouvrages solides et durables, tels qu'on puisse les maintenir indéfiniment avec une dépense d'entretien raisonnable.

En aucun cas l'État ne sera responsable des pertes que M. Eads aura pu subir dans l'exécution de ses travaux.

Principe du système. — Avant de dire ce que ce hardi concessionnaire a fait et obtenu jusqu'ici, il est bon d'indiquer le raisonnement sur lequel repose sa confiance dans le succès.

Le bras du Sud du Mississipi présente les traits caractéristiques des fleuves qui se jettent dans les mers sans marées. Après être demeurée constante sur une quinzaine de kilomètres, sa section transversale change. Les rives que le fleuve se crée à lui-même s'évasent en s'abaissant vers la mer, dans laquelle elles disparaissent, en même temps que le fond se relève par une contre-pente dont l'arête culminante, qui constitue la barre, se trouve à quelques kilomètres de distance.

Que l'on prolonge artificiellement les rives par deux jetées parallèles :

il n'est pas douteux que la barre sera attaquée. Elle se reformera un peu plus loin, comme on l'a constaté pour le Rhône; mais on n'en aura pas moins profité d'un abaissement momentané. Voilà le point de départ de M. Eads. Si l'on construit, dit-il, rapidement, en quelques années, des jetées de longueur telle que les apports du fleuve se déposent dans les profondeurs de la mer, où se constituera lentement le soubassement sur lequel la barre s'élèvera plus tard, on peut ajourner pour un siècle ou plus cette reformation de l'obstacle; il s'agit de prendre une avance convenable sur l'allongement naturel du bras: pour un allongement de 30 mètres par an, 1 kilomètre de digue peut donner plus de trente ans d'avance.

Application. — Dès la fin de l'année 1876, la branche du sud du Missisipi se terminait par un chenal artificiel de 300 mètres de largeur, un chenal compris entre deux digues parallèles que l'on a élevées sur toute leur longueur à la fois, jusqu'au delà de la crête de la barre, jusqu'au point où il y avait primitivement 35 pieds d'eau ($10^{m},67$). Ces digues sont analogues à celles de la Hollande, la pierre et le gravier manquant à l'embouchure du Missisipi [1]. L'une des deux a 3,650 mètres de longueur et l'autre 2,500.

On a d'ailleurs aidé à l'affouillement, à l'ameublissement du fond, par de nombreux épis transversaux et par de puissants dragages.

Si l'on suppose le chenal décomposé en six tronçons de 600 mètres de longueur, l'approfondissement obtenu de juin 1875 à novembre 1876 a été, savoir :

De $0^{m},50$ dans le deuxième tronçon, de $1^{m},33$ dans le troisième, de $3^{m},35$ dans le quatrième, de $3^{m},47$ dans le cinquième, de $3^{m},39$ dans le sixième.

Au 14 novembre 1876, les deux courbes de 20 pieds ($6^{m},10$) de profondeur, en deçà et au delà de la barre, s'étaient rejointes. (Il s'agit ici de la profondeur en contre-bas de la haute mer moyenne, à l'étiage du fleuve.)

D'ailleurs, cette profondeur minimum de $6^{m},10$ régnant sur une largeur de 60 mètres au moins, M. Eads a touché au mois de janvier 1877 un premier acompte de 2,500,000 francs.

Le 15 décembre dernier, la profondeur ayant atteint $6^{m},70$ sur une largeur de 60 à 80 mètres, M. Eads a touché le deuxième acompte de 2,500,000 francs.

État actuel des choses. — Il y a de cela six mois. Où en est-on maintenant? M. Eads a-t-il toujours confiance dans le succès ? J'ai sous les yeux les trois documents suivants :

1° Une pétition adressée le 7 mai dernier par M. Eads au ministre de

[1] On peut trouver de plus amples détails sur le mode de construction de ces digues dans les leçons faites à l'École des ponts et chaussées en 1876-1877, p. 194 des feuilles autographiées.

la guerre, en vue d'obtenir quelques modifications aux conditions du marché [1];

2° Un rapport fourni sur cette demande par deux ingénieurs du Gouvernement constitués en commission spéciale à cet effet;

3° Enfin une lettre du ministre, qui soumet l'affaire au Sénat en appuyant les conclusions de la commission.

M. Eads déclare que la dépense faite pour obtenir les résultats connus a considérablement excédé ses prévisions, et que les intérêts à payer l'épuisent. Il demande qu'on raccourcisse les délais durant lesquels les profondeurs successivement réalisées doivent avoir été maintenues pour donner lieu à un nouveau payement d'acompte. Le commerce a le plus grand intérêt à ce que les travaux se terminent le plus promptement possible. Il y aura également profit pour le trésor public, libéré plus tôt des intérêts qu'il paye au concessionnaire, à raison de 5 p. o/o, sur les subventions acquises en principe, mais dont le payement est ajourné.

D'autre part, M. Eads demande qu'on réduise provisoirement les largeurs minima du chenal, pour les approfondissements successivement obtenus, faisant observer que la commission d'ingénieurs qui avait préparé la convention de 1874 s'était abstenue de fixer aucune largeur, et que la stipulation ajoutée d'office sur ce point par la commission législative suppose, entre la profondeur et la largeur du chenal, un rapport qui ne se réalise pas dans la pratique. Ainsi, pour obtenir finalement une largeur de 350 pieds (ou 107 mètres), il faudrait donner au chenal une profondeur supérieure à 30 pieds ($9^{m},15$), et ce sont là des dimensions qui dépassent les besoins réels de la navigation.

M. Eads conclut en demandant:

1° Que les progrès de l'approfondissement soient constatés pied par pied;

2° Que les largeurs correspondantes à chaque phase soient modifiées suivant une échelle qu'il indique: qu'au lieu de croître de 250 à 350 pieds, quand la profondeur augmentera de 24 à 30 pieds, la largeur se réduise, au contraire, de 150 à 100 pieds;

3° Enfin que les payements soient échelonnés en sept subventions décroissant concurremment de 750,000 dollars à 250,000, tout en restant dans les limites de la subvention totale. On maintiendrait d'ailleurs à 1 million de dollars la retenue de garantie.

M. Eads fait enfin valoir, par des considérations d'une incontestable éloquence, les titres qu'il a en équité aux concessions qu'il sollicite.

Dans le rapport de MM. J. G. Barnard et H. G. Wright, je me borne à relever quelques appréciations techniques sur les travaux exécutés.

[1] C'est au ministère de la guerre que ressortissent les travaux ayant pour but d'améliorer, dans un intérêt général, le régime des rivières.

Pour acquérir à un degré convenable le caractère de solidité et de durée que la loi de concession exige, les digues ont besoin d'être élargies et surtout revêtues de pierres. Ce sont là des compléments nécessaires surtout pour les extrémités des jetées, points où les digues s'affaissent par le tassement des matelas et du sous-sol, en même temps que des coups de mer les décapent. La commission de 1874 avait supposé, dans son estimation, que les jetées seraient formées d'enrochements pour $\frac{1}{3}$ et de fascines pour $\frac{2}{3}$; elle avait prévu l'emploi de plus de 150,000 mètres cubes de pierres. Or, après n'avoir employé de pierres que ce qu'il en fallait pour provoquer l'échouage des matelas, on en a ajouté 15,000 mètres cubes environ, et M. Eads annonce qu'il y en a moitié autant à pied d'œuvre : on est donc encore bien loin du cube prévu.

Quoi qu'il en soit, la commission est d'avis que les travaux s'exécutent convenablement, que le succès en est probable, et qu'au point où l'on en est, le Gouvernement et le pays sont intéressés à ce que ces travaux soient non seulement continués, mais poussés avec toute l'activité possible.

La commission reconnaît, d'accord avec le pétitionnaire, qu'un mouillage de 26 pieds ($7^m,93$) est bien suffisant, et que, si l'on a parlé de 30 pieds, c'est pour se donner de la marge. Elle ajoute que, sur les barres du Missisipi, la totalité de la profondeur peut être utilisée comme tirant d'eau effectif. Elle ajoute encore, à titre de renseignements, que les 0,85 des navires du monde entier ne tirent pas plus de 23 pieds (7 mètres); qu'un tirant d'eau de 26 pieds ($7^m,93$) est le maximum requis pour le trafic régulier sur la barre d'entrée de la baie de New-York; enfin, que le plus grand navire qui ait jamais franchi cette barre ne tirait que 28 pieds ($8^m,54$).

Ces observations de la commission sont évidemment favorables dans leur ensemble à la pétition de M. Eads. Elle émet néanmoins l'avis que le Congrès seul peut autoriser les modifications demandées en ce qui concerne les largeurs et les termes du versement des subventions.

Ce travail palpitant d'actualité, rien ne le représente à l'Exposition. Il est pourtant remarquable à plus d'un titre :

Cette entreprise est l'une des gageures les plus audacieuses qu'ait jamais risquées l'industrie privée;

Le résultat dès à présent obtenu dépasse, au point de vue de l'art et en importance matérielle, tous ceux qu'avait jusqu'ici produits le système du rétrécissement du lit des fleuves [1];

Si ce résultat se maintient et se complète sans que les digues soient d'un entretien trop dispendieux, on aura opéré par là une véritable révolution commerciale au profit non seulement de la Nouvelle-Orléans, mais de tout le bassin du Missisipi.

[1] Il y aurait d'ailleurs un rapprochement intéressant à faire ici avec l'endiguement de la Seine maritime.

§ 2.

CHEMINS DE FER. — CONSTRUCTION. — PONTS DE GRANDE OUVERTURE.

L'ouvrage d'art essentiel des voies de communication terrestres, chemins de fer ou routes, c'est celui qui leur permet de franchir les cours d'eau. En Amérique, c'est à peu près le seul qui mérite de fixer l'attention; car les grandes tranchées sont rares, les grands remblais le sont encore plus, les souterrains sont peu nombreux et de faible longueur, si l'on excepte le tunnel de 7 kilomètres qui a été construit à Hoosac, aux frais de l'État de Massachusetts, pour raccourcir la distance de Boston à Albany et Buffalo. (Ce tunnel a été livré à la circulation en 1876.)

Dans la plus grande partie du territoire des États-Unis, les bonnes pierres de construction manquent; aussi les ponts ne se construisent-ils qu'en bois ou en fer. Les ponts en bois, seuls connus jusque vers 1840, ne sont plus employés aujourd'hui qu'à titre provisoire, ou quand le capital de premier établissement fait défaut. Voilà comment presque tous les ponts intéressants sont en métal.

Une autre circonstance particulière aux États-Unis, c'est que les cours d'eau, s'ils sont peu nombreux, sont en revanche fort larges. Ils sont d'ailleurs généralement dirigés du Nord au Sud, comme la chaîne des Alleghanys, comme celle des montagnes Rocheuses, comme tous les grands traits physiques du continent américain : ils constituaient ainsi des barrières qui ont arrêté d'abord à l'Ohio, puis au Mississipi et enfin au Missouri, le mouvement d'expansion de la colonisation vers l'Ouest. Le besoin de les franchir s'imposait.

Une autre difficulté du problème tenait à la nature du lit de ces rivières, dont le fond se compose, dans la plupart des cas, de sable mouvant sur 10, 20, 30 mètres et plus de profondeur. Les difficultés de fondation ont conduit à espacer les points d'appui beaucoup plus qu'on ne le fait généralement en Europe.

Les ponts métalliques de grande ouverture constituent ainsi un trait véritablement original des travaux publics aux États-Unis. Il y a tels de ces ponts dont la construction a coûté 1 million de dollars, tels autres 2 millions; le pont de Saint-Louis a coûté bien davantage. D'éminents ingénieurs ne s'occupent que de ponts métalliques; de puissantes compagnies en ont fait une spécialité à peu près exclusive : la compagnie dite Keystone et celle de Phénixville à Philadelphie, la société dite Américaine à Chicago, la compagnie dite de la Delaware à New-York, celle qui est dirigée par M. Pope à Détroit, la compagnie Watson à Patterson (New-Jersey) et d'autres encore.

Indications numériques.

1° TRAVÉES FIXES DE PONTS À POUTRES DROITES :

	OUVERTURE.
	mètres.
En 1862, il n'y avait encore (croyons-nous), aux États-Unis, que deux ponts à grandes travées; ils étaient l'œuvre de M. Albert Fink; l'ouverture était de	61.00
On construisit alors un pont sur la Mornongahéla	79.30
Et un autre sur l'Ohio à Steubenville	97.60
En 1869, deux autres ponts sur l'Ohio à Bellaire	106.75
En 1869, deux autres ponts sur l'Ohio à Louisville	122.00
En 1871, sur le Missouri, à Saint-Charles	91.50
——— sur l'Ohio, à Cincinnati	156.00
——— sur l'Hudson à Poughkeepsie, on en a commencé un qui aura cinq travées de	160.12

2° PONTS TOURNANTS (EN POUTRES DROITES À DEUX VOLÉES SYMÉTRIQUES) :

	mètres.
Longueur du tablier à Chicago	68.62
Longueur du tablier à Cleveland	99.12
Sur le Mississipi à Dubuque et à Kansas-City	109.80
——— à Keokuk	118.03
De 1873 à 1875, sur le Missouri, à Atchison	111.32

(Un pont analogue va être construit dans le port de Marseille. Le projet en a été approuvé le 1er avril 1878 par M. le Ministre des travaux publics. La longueur totale du tablier, y compris une portée de 0m,90 sur chacune des deux culéees, sera de 73m,80.)

3° PONTS SUSPENDUS :

		mètres.
En 1855.	Pont d'aval du Niagara, à double étage	250.20
1860.	Pont de Pittsburg	105.00
—	Pont de Wheeling, sur l'Ohio	308.05
1867.	Pont de Cincinnati, sur l'Ohio	322.00
1869.	Pont d'amont du Niagara	386.44
1877.	Pont de Minneapolis, près de Saint-Anthony (Minnesota)	205.90
—	Point-Bridge, sur la Mornongahéla, à Pittsburg	244.00
—	Pont en construction sur la Rivière de l'Est	493.00

4° PONT EN ARCS DE SAINT-LOUIS :

Une arche centrale de	158.60
Deux autres de	157.07

I. — SUPERSTRUCTURE.

A. *Poutres à grandes mailles articulées.* — Tous les grands ponts à poutres droites continuent de se construire suivant un système beaucoup

plus connu aujourd'hui en Europe qu'il ne l'était en 1870. Je me bornerai à rappeler que les éléments caractéristiques peuvent en être groupés dans la formule suivante :

Une file de poutrelles creuses de 3 à 4 mètres de longueur, réunies souvent par des boîtes en fonte, et une autre file de barres à œils, réunies par des articulations, sont reliées ensemble par des montants ou des tirants diversement combinés, articulés toujours sur la semelle inférieure et quelquefois sur l'autre, de telle sorte que chacun de ces liens ne subisse jamais qu'un seul genre d'effort, tension ou compression, dont le maximum calculé détermine la section transversale qu'on doit donner à chaque pièce.

Ce travail intégral de l'*âme* des poutres doit conduire à une réduction de poids et par suite à une économie. Mais ce n'est pas le seul avantage qui apparaisse *à priori*. On peut en reconnaître d'autres dans le peu de prise qu'offre à l'oxydation le métal ramassé suivant la direction même des efforts, dans la facilité qu'on a d'accéder à tous les organes pour les visiter et les repeindre en temps utile, dans la commodité du transport de ces pièces, qui n'ont isolément que peu de longueur, dans le peu de surface qu'offrent à l'action du vent de grandes mailles qui d'ailleurs ne retiennent pas la neige sur le tablier du pont.

En fait, l'usage persistant du système aux États-Unis prouve péremptoirement qu'il a conservé toute sa valeur aux yeux des Américains. Les ponts en treillis rivés ne s'emploient que dans une mesure très restreinte. Ils semblent constituer une spécialité pour une maison établie à Rochester (État de New-York), la compagnie Leighton.

Le mérite comparatif des deux systèmes, que différencie essentiellement le mode d'assemblage des pièces, est difficile à apprécier à défaut de renseignements bien comparables sur le poids du métal employé et sur la dépense de main-d'œuvre, tant à l'atelier que pour le montage. Mais c'est une autre considération qui nous éloigne principalement, en France, de l'emploi des assemblages par articulation. Tandis que le fer et l'acier qu'on emploie en Amérique pour les ponts sont toujours de qualité supérieure, il s'en faut de beaucoup que les usines d'Europe, où l'on construit des ponts en pièces rivées, regardent comme aussi nécessaire un choix rigoureux des fers qu'elles mettent en œuvre. Puis ces usines n'ont pas l'outillage spécial qui permet aux Américains de fabriquer économiquement et sûrement des pièces dont les échantillons sont limités à un petit nombre de types. Cet outillage spécial, nos usines pourraient l'acquérir; mais elles s'en abstiennent parce qu'elles n'en auraient pas l'emploi.

B. *Ponts suspendus.* — Les ponts suspendus, imaginés en Amérique vers la fin du siècle dernier, y ont été repris et perfectionnés depuis trente ans.

Par une combinaison rationnelle des câbles de suspension avec des poutres longitudinales et des haubans qui rattachent le tablier aux supports du pont, par l'inclinaison donnée au plan des câbles et l'addition d'amarres extérieures, enfin par des perfectionnements introduits dans la fabrication et le mode d'attache des câbles en fils de fer, les Américains sont arrivés à faire des ponts, plus dispendieux sans doute, mais parfaitement solides, et qui ont résolu des problèmes inabordables par tout autre système.

Depuis 1870, on a construit un grand pont suspendu à Pittsburg, et l'on a continué celui qui était commencé à New-York.

Point-Bridge. — Le premier, construit en deux ans (1873-1875), porte un tramway à double voie et deux trottoirs latéraux. Le tablier a $10^{m},37$ de largeur d'axe en axe des garde-corps.

La longueur de la travée principale, d'axe en axe des piles, est, comme je l'ai déjà indiqué, de 244 mètres. La hauteur du passage laissé libre au-dessus de l'étiage est de $24^{m},40$.

Les chaînes de suspension ne sont pas formées de fils de fer, comme dans les ponts de M. Rœbling. Elles sont formées de barres de $6^{m},25$ de longueur, juxtaposées et assemblées par leurs extrémités avec les barres suivantes par un goujon ou charnière de 15 centimètres de diamètre.

Le moyen employé pour donner au pont une grande rigidité consiste surtout en ce que les chaînes sont reliées au tablier par des montants non susceptibles de fléchir, tandis que, d'autre part, chaque demi-chaîne forme comme la semelle inférieure d'une poutre ou ferme inclinée dont la semelle supérieure descend en ligne droite du sommet de la tour au milieu du tablier. Des montants et des liens diagonaux, tous articulés, relient une semelle de la ferme à l'autre. La semelle supérieure, formée de fers en cuvette et de fers plats, présente une section rectangulaire de 56 centimètres de largeur sur 33 centimètres de hauteur. L'intervalle des deux semelles est de $6^{m},71$ au milieu. On ne met d'ailleurs en service ces armatures supérieures que lorsque le tablier est entièrement construit et pèse de tout son poids sur les chaînes demeurées libres jusque-là.

Pont de la rivière de l'Est. — Les deux piles et les culées de ce pont ont été terminées en 1873; mais la continuation des travaux a subi de longs retards par suite de difficultés financières. Les villes de New-York et de Brooklyn se sont substituées, pour cette entreprise, à la compagnie primitive.

La superstructure est en cours de montage. On peut voir à l'Exposition un échantillon des câbles principaux. Formé de 6,000 fils d'acier fondu et galvanisé, il présente un diamètre de $0^{m},45$ environ. Sa résistance à la rupture est évaluée à 10 tonnes.

II. — FONDATIONS.

Les fondations à l'air comprimé, imaginées en 1841 en France par M. Triger et appliquées dix ans plus tard à la reconstruction du pont de Rochester, ont été introduites en Amérique dès l'année 1855. Elles y ont été notamment appliquées, sur une échelle inconnue en Europe, aux deux grands ponts de Saint-Louis et de New-York.

On remarque, entre autres innovations :

1° La vaste superficie des caissons (elle a été portée à 16 ares au pont de New-York);

2° La substitution du bois massif à la tôle pour le caisson dans ce même pont de New-York, où l'épaisseur du plafond atteint 7 mètres;

3° L'emploi de l'engin dit *pompe à sable* au pont de Saint-Louis;

4° La grande profondeur (33^{m},70) à laquelle on a travaillé sous l'eau dans ce même pont;

5° Enfin et surtout l'immobilisation de l'*écluse à air* au bas des puits.

Attaquées sur une grande échelle dès la fin de 1869, les fondations de l'une des piles du pont de Saint-Louis étaient très avancées quand je les visitai au mois de septembre 1870. Je fus très frappé de voir que les écluses à air, au lieu d'être installées au-dessus du niveau de l'eau et déplacées à mesure qu'il fallait allonger par le haut les puits d'accès de la chambre de travail, étaient établies à demeure dans cette chambre même. On descendait donc dans l'air ordinaire par un puits central, ou plutôt par une large cage de 3 mètres de diamètre, dans laquelle était établi un escalier tournant qui fut en dernier lieu remplacé par un ascenseur; on descendait ainsi jusqu'à 2 mètres en contre-bas du plafond du caisson; là on passait de plain-pied, par une porte, dans un sas à air de 2 mètres de diamètre. Une fois l'équilibre de pression établi, et la porte extérieure s'ouvrant, on n'avait plus qu'à sauter par terre d'une hauteur de 80 centimètres environ. Or, dans un air aussi fortement comprimé, il fallut finalement réduire à moins d'une heure la durée des relais de travail. Quel avantage de n'avoir pas à en déduire le temps nécessaire pour descendre et remonter sur une hauteur équivalente à dix étages d'une maison parisienne! Quel soulagement pour des ouvriers généralement accablés de fatigue et ruisselants de sueur à la fin de leur tâche! Quelle commodité pour la transmission des ordres, pour l'introduction des outils, pour les communications de toute espèce! D'ailleurs on diminuait ainsi l'espace qu'il faut, malgré les fuites, tenir plein d'air comprimé; et la partie du puits qui est en dehors de la chambre de travail n'avait plus besoin d'être construite en forte tôle : il suffisait qu'elle fût mise, par une chemise extérieure en tôle ou, bien plus économiquement, par un cuvelage intérieur en

douves de sapin (comme M. Eads le fit à dater de 1870), à l'abri des eaux qui peuvent s'infiltrer à travers les maçonneries.

La publicité donnée en 1873 au compte rendu des travaux du pont de Saint-Louis a eu pour résultat d'en provoquer une autre et de faire connaître que, dans la construction d'une culée du pont de Collonges, sur le Rhône, une écluse à air avait été, comme au pont de Saint-Louis, placée à demeure dans la chambre de travail. Cette idée avait été élaborée de concert, en 1869, par M. Masson, entrepreneur des travaux, et M. Sadi Carnot, ingénieur des ponts et chaussées. Elle avait été réalisée au printemps de 1870 sous une profondeur d'eau effective de 8 mètres environ. Ce travail figure du reste aujourd'hui dans la section française de l'Exposition, dans le pavillon du Ministère des travaux publics.

La mémoire de M. Masson n'aura rien perdu à la simultanéité d'exécution des ponts de Collonges et de Saint-Louis. Quant à M. Sadi Carnot, il doit être doublement heureux de l'importance qu'a prise en Amérique l'innovation à laquelle il avait concouru, — innovation portée peut-être en temps utile, par quelque brise intelligente, des rives du Rhône à celles du Mississipi.

CONCLUSION.

Parmi les faits qui viennent d'être exposés, on peut, à titre de conclusion sommaire, retenir les suivants :

Les Américains ont prouvé que l'on peut construire couramment des ponts de 100 mètres et plus d'ouverture. Dans les pays où le besoin ne s'en fait pas sentir au même degré, on doit du moins conclure de cet exemple qu'il faut y regarder à deux fois avant de laisser construire des ponts susceptibles de gêner la navigation ou d'entraver l'écoulement des grandes eaux.

Pour les ponts métalliques, on peut s'en tenir, — au moins dans l'état des habitudes prises, — aux poutres à treillis rivés, et laisser aux Américains ces poutres articulées à grandes mailles dont ils ont pourtant tiré un si grand parti. Mais tous les pays du monde peuvent emprunter à l'Amérique des enseignements utiles sur l'art des fondations à l'air comprimé.

Dans ce pays, où la construction des chemins de fer touche à sa fin, le Gouvernement et l'opinion publique reviennent, à quarante ans d'intervalle, aux voies navigables. On s'y préoccupe aujourd'hui, non pas de créer de grandes lignes là où il n'en existe pas, mais d'améliorer ou de compléter celles qui existent. Quand le trafic ne manque pas, une bonne ligne navigable transporte à bien meilleur prix qu'un bon chemin de fer; c'est le contrepoids naturel de l'omnipotence des voies ferrées et le régulateur le plus efficace des tarifs pour les matières lourdes et encombrantes.

Le gouvernement fédéral fait étudier dans cette intention, avec beaucoup de soin et d'ensemble, les améliorations que comporte le réseau de la na-

vigation intérieure. Il exécute lui-même les travaux dont la dépense peut être évaluée avec exactitude et dont le résultat est certain. Mais il laisse aux intérêts locaux et à l'industrie privée l'initiative et la responsabilité des aventures telles que celle qui s'accomplit présentement à l'embouchure du Mississipi. Le Gouvernement s'abstenant ici, tandis que M. Eads et ses associés marchent de l'avant, chacun est dans son rôle. On ne peut qu'approuver la réserve gouvernementale. Mais peut-on s'empêcher d'admirer quelque peu M. Eads prenant, pour ainsi dire, corps à corps la barre d'embouchure du Mississipi et donnant de ces grands coups d'épée qui rappellent ceux des preux de Charlemagne ?

Souhaitons pour lui que les parties extrêmes de ses jetées ne soient ni emportées par les tempêtes, ni englouties dans le sol mouvant qui les porte; — que les bois tendres de ses fascinages s'empâtent de vase avant d'avoir été dévorés par le *teredo navalis;* — enfin que la barre, à peu près mise en fuite pour le moment, ne réapparaisse pas avant le temps prévu par son intrépide adversaire.

Quel que soit le résultat définitif de cette gigantesque expérience d'hydraulique fluviale, elle a droit, ce me semble, à l'attention sympathique des ingénieurs réunis, à l'occasion de l'Exposition universelle, dans une préoccupation commune des progrès que leur art comportera toujours.

M. Tresca, *président.* Messieurs, j'avais beaucoup hésité à prendre la présidence de cette réunion, qui appartenait évidemment à l'un des représentants les plus considérables du corps des ponts et chaussées, qui y assiste. Celui-ci ayant manifesté le désir de me laisser cet honneur, je l'en remercie, attendu que cette circonstance me donne l'occasion d'exprimer à M. Malézieux tous les sentiments que nous impose la magnifique communication qu'il vient de nous faire.

Je serai donc auprès de lui l'interprète de votre respectueuse attention, de votre cordiale sympathie, dans cette circonstance où il a bien voulu abandonner ses travaux pour porter devant le public cette leçon si attrayante par la façon dont elle a été traitée. Et, puisque l'occasion m'est offerte de lui adresser la parole, qu'il me permette de lui présenter à mon tour quelques observations que sa savante leçon soulève.

A la suite de nos désastres, on racontait partout que nous les avions bien mérités, surtout parce que nous ignorions la géographie; je ne me suis pas laissé prendre à cette raison bien puérile, et, ce qu'il y a de certain, c'est que M. Malézieux nous a prouvé que nous savions la géographie, et la bonne, puisque nous étions si bien au courant de travaux qui s'exécutaient aussi loin de nous.

Sans doute il est indispensable que nous connaissions les travaux publics de l'étranger et particulièrement ces gigantesques ouvrages qui ont été successivement établis en Amérique; mais il est bon aussi que nous nous préoccupions des conditions dans lesquelles ces ouvrages ont été exécutés et que nous nous demandions si ce génie un peu hâtif, un peu primitif mais grandiose, du peuple américain, n'est pas, dans une certaine mesure, la conséquence des circonstances dans lesquelles ce peuple s'est développé.

Soyez sûrs, en effet, que les grandes œuvres, comme le génie d'un peuple, sont le reflet des nécessités dans lesquelles ce peuple s'est trouvé placé; et si le peuple américain a marché à pas de géants dans plus d'un ordre des travaux de l'ingénieur, cela tient précisément à ce qu'il a été aux prises avec des nécessités considérables, et parmi ces nécessités je citerai principalement les obstacles naturels que présentait l'étendue même de son sol, et cet obstacle non moins considérable qui résulte de ce que la main-d'œuvre n'y est pas à bon marché.

Écartant ces obstacles, les États-Unis ont su se créer, pour ainsi dire, une situation particulière, et nous n'avons pas comme eux à examiner nos travaux au point de vue du reflet particulier des deux nécessités que je viens d'indiquer.

Le haut prix de la main-d'œuvre se traduit, dans le génie américain, par une foule de procédés mécaniques dont nous n'avons encore qu'une idée bien incomplète, qui nous étonnent et que nous serons bien obligés d'aborder chez nous au fur et à mesure que la main-d'œuvre deviendra plus rare et plus chère.

Il y a donc dans l'étude faite par M. Malézieux non pas seulement une question de travaux d'utilité publique; il est temps que nous voyions les choses sous leur véritable jour et que nous reconnaissions que nous avons beaucoup à étudier dans ce qui réussit au peuple américain.

Ainsi, quand nous avons appris, par la conférence même que nous venons d'entendre, que les bois en Amérique s'obtiennent dans une proportion aussi vaste qu'il est nécessaire, que les richesses minérales sont pour ainsi dire incommensurables, que le fer est plus abondant qu'il ne l'est aujourd'hui en Europe, quand nous avons appris que, dans tous les grands travaux d'art, les Américains n'employaient que des métaux de premier choix, — et quel choix! leur fonte même est la plus belle fonte du monde! — lorsque nous avons entendu l'énumération de toutes ces conditions particulières, nous nous sommes demandé s'il n'était pas nécessaire de dire bien haut que nous avions beaucoup à faire pour profiter de la leçon qui nous est donnée de bien loin, et qui serait comme la morale de ce qui nous a été si bien dit par M. Malézieux.

M. Malézieux a rempli un devoir patriotique en nous indiquant d'une manière nette et complète la situation dans laquelle nous pourrions nous

placer si nous avions, à l'égal du peuple américain, la hardiesse des grands travaux dont il vient de nous parler, hardiesse qui frappera l'esprit, surtout si nous prenons des comparaisons. Ainsi ce pont suspendu de 500 mètres, plus long que la distance de l'École militaire à la Seine; ce pont d'une seule arche de 160 mètres, longueur presque égale à celle qui s'étend de cette salle au delà du pont qui nous sépare de l'Exposition; ce sont là vraiment des exemples qui nous indiquent d'une manière complète qu'il y a chez nous beaucoup à faire.

Les indications qui viennent de nous être données par M. Malézieux sont comme un reflet de ce beau livre qui nous a tant étonné, il y a quelques années déjà : son *Rapport sur les travaux publics en Amérique*. Ce fut une révélation. Nous n'étions pas suffisamment préparés à l'indication d'aussi gigantesques ouvrages, et, pour les avoir vus comme il les a vus en Amérique, il fallait assurément que M. Malézieux fût préparé à les bien juger.

Tout incompétent que je sois en ce qui concerne les travaux publics, je vous demande la permission de citer un fait qui sera peut-être de nature à montrer combien cette révélation était intéressante.

J'ouvre un jour les *Annales* des ponts et chaussées (nous autres ingénieurs civils, nous lisons quelquefois ces *Annales*) et j'y vois un article modestement signé d'un M. Il s'agissait d'une machine à eau chaude que quelqu'un avait vue en Amérique, et qui semblait, à la première lecture, être une œuvre de fantaisie, comme un roman. J'avoue que je fus très étonné, et qu'après avoir lu l'introduction je ne me livrai à la lecture de l'article que par simple curiosité; mais, à mesure que j'avançais dans cette lecture, je fus émerveillé par la description de cette machine qui marchait simplement avec de l'eau chaude et sans charbon. Je voyais bien n'avoir pas affaire à une fantaisie, mais à une réalité.

Je n'avais pas reconnu d'abord la main qui avait écrit cet article, lequel émanait évidemment d'un homme sûr et compétent. — Voilà comment M. Malézieux étendait ses investigations sur tous les détails de l'industrie américaine, comment il nous a rapporté les véritables richesses qui ont excité notre étonnement.

Aujourd'hui, Monsieur et cher Camarade, si vous me permettez de me servir de cette expression, je puis dire que vous avez conquis notre admiration, car, pour bien voir, il faut beaucoup savoir, et, pour bien écrire, avoir le talent que nous venons de rencontrer dans l'exposé que vous venez de nous faire.

Au nom du Congrès des ingénieurs civils que je préside, je vous prie de recevoir tous nos remerciements. (Applaudissements.)

La séance est levée à 4 heures 20 minutes.

PALAIS DU TROCADÉRO. — 10 AOÛT 1878.

CONFÉRENCE SUR LA DYNAMITE
ET
LES SUBSTANCES EXPLOSIVES,

PAR M. LOUIS ROUX,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MANUFACTURES DE L'ÉTAT.

BUREAU DE LA CONFÉRENCE.

Président :

M. A. Burat, ingénieur, professeur à l'École centrale.

Assesseurs :

MM. Brüll, ingénieur civil.
Fritsch-Lang, chef de bataillon du génie.
Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées.
Mayer, inspecteur général des poudres et salpêtres.

La séance est ouverte à 2 heures.

M. A. Burat, *président*. Messieurs, l'objet de cette réunion est d'entendre les explications que M. Roux voudra bien nous donner sur la fabrication et l'emploi de la dynamite, ainsi que de toutes les autres substances explosives.

La parole est à M. Roux.

M. Roux. Messieurs, pendant la période de temps qui s'est écoulée depuis la dernière Exposition universelle, a pris naissance un art en quelque sorte nouveau, celui des substances explosives, et cet art nouveau a créé de nouvelles industries.

C'est pendant la période précédente que s'était produit ce fait d'une haute valeur scientifique : la découverte de substances explosives préparées directement par des combinaisons chimiques, tandis que les anciens explosifs étaient formés par des ingrédients mélangés mécaniquement. Cette découverte devait donner naissance à une série indéfinie de corps explosifs. Quelques-uns d'entre eux, le fulmicoton notamment, avaient pris immédiatement place dans l'industrie ; la nitroglycérine, le premier explosif liquide, l'avait suivi ; mais il fallait encore plusieurs années avant de déterminer les transformations moyennant lesquelles ces substances redoutables pouvaient être mises en circulation sans compromettre la sécurité publique. Ce résultat n'a pas été obtenu sans de cruelles épreuves ; mais de nos jours enfin, grâce à la transformation du pyroxyle primitif en fulmicoton comprimé, et de la nitroglycérine en dynamite, on peut croire que le but a été atteint ; et si les nouveaux explosifs mis aujourd'hui entre les mains des travailleurs ne sont pas absolument sans dangers, résultat qu'il paraît chimérique d'espérer, on peut dire du moins que, tout en ayant accru dans une large proportion les forces mises à la disposition de l'industrie, ils présentent toute la sécurité qu'on peut raisonnablement attendre d'une matière explosive.

Cependant l'ancienne poudre noire ne devait pas être abandonnée. Loin de là, l'usage des nouveaux explosifs ne devait que mieux faire ressortir ses propriétés. Rien n'a pu la remplacer jusqu'ici dans la production des effets balistiques, pour l'emploi des armes à feu ; mais les nouvelles substances devaient présenter des avantages incontestables pour les effets de rupture, dans les travaux de sautage. C'est à ce point de vue spécial que nous examinerons les substances explosives.

SUBSTANCE EXPLOSIVE. — DÉFINITION.

Qu'est-ce qu'une substance explosive ? Remarquons d'abord que tout corps susceptible de produire une explosion n'est pas un corps explosif. Le gaz d'éclairage, les essences minérales, peuvent faire explosion au contact de l'air ; mais il leur faut la présence de l'atmosphère. Un corps explosif, au contraire, doit se suffire à lui-même. Destiné à être employé dans l'âme d'un canon ou au fond d'un trou de mine, il faut qu'il trouve en lui-même tous les éléments nécessaires à l'explosion, c'est-à-dire à sa transformation en gaz complète ou partielle. Ce corps, solide ou liquide, ne présentant dans cet état qu'un faible volume, se transforme à un moment donné, par ses propres éléments, en un volume de gaz incomparablement plus grand, qui, par leur pression sur les parois de l'enceinte où ils sont renfermés, exercent les effets de projection ou de rupture que l'on recherche.

Tout corps solide ou liquide composé d'éléments gazeux n'est pas par

cela même un corps explosif. Il faut encore que sa transformation en gaz dégage de la chaleur. Ainsi le chlorure d'azote, composé de deux gaz, est bien un explosif, parce qu'il dégage une chaleur considérable au moment de la décomposition. L'eau, quoique composée également de deux gaz, n'est point et ne sera jamais un explosif, car c'est sa formation qui dégage de la chaleur, et sa décomposition subite, en supposant qu'on eût les moyens de la réaliser à volonté, ne produirait au contraire que du froid.

Les explosifs composés de gaz simples ne sont guère que des exceptions, et le peu que nous en connaissons, tels que le chlorure et l'iodure d'azote, ne sont point des substances pratiques. Les explosifs usuels, aussi bien les anciens, formés de matières minérales, que les composés chimiques nouveaux, doivent leur propriété à cette circonstance qu'au moment de la déflagration il se forme des combinaisons chimiques nouvelles qui, développant une haute température, donnent aux gaz engendrés une énorme tension.

Dans la poudre, ces combinaisons sont dues à la présence d'un corps oxydant, le nitrate de potasse, qui, au moment de la déflagration, transforme le carbone du mélange en acide carbonique et oxyde de carbone. Dans les nouveaux explosifs chimiques, dans le pyroxyle comme dans la nitroglycérine, c'est encore par l'oxydation du carbone contenu dans la substance qui a servi de base à la préparation que sont engendrés les gaz explosifs.

Ainsi deux éléments sont indispensables pour former une substance explosive: un corps comburant, l'oxygène, introduit dans le mélange sous forme d'acide azotique, d'azotate et quelquefois de chlorate, et un corps combustible, le carbone, qui peut être introduit sous les mille formes qu'il revêt dans la nature.

FORCE D'UN EXPLOSIF.

La force explosive d'une substance, c'est-à-dire la pression exercée sur l'unité de surface de la capacité dans laquelle elle détone, a pour mesure le produit de la quantité de chaleur dégagée par le volume des gaz, ces gaz étant réduits à la température zéro et à une pression uniforme.

On vérifie cette loi au moyen des diverses combinaisons de l'ancienne poudre noire. Voici notamment les résultats donnés par trois dosages, contenant, l'un le maximum de salpêtre et le minimum de carbone, l'autre le minimum de salpêtre et le maximum de carbone, le troisième une moyenne de ces deux éléments.

	DOSAGE.			CALORIES DÉGAGÉES. par kilogr.	VOLUME DES GAZ.
	Salpêtre.	Soufre.	Charbon.		
Chasse fine......	78	10	12	807,3	234 litres.
Commerce......	72	13	15	694,2	281
Mine..........	62	20	18	570,2	307

Les quantités de chaleur et les volumes des gaz sont très différents pour ces trois espèces de poudre. Le produit des deux éléments est, au contraire, presque constant. Il diffère à peine d'un dixième.

1er dosage,	chasse,	produit des éléments,	1889
2e —	commerce,	—	1950
3e —	mine,	—	1750

Or l'expérience démontre en effet que la puissance d'explosion des trois mélanges est sensiblement la même.

RAPIDITÉ DE LA RÉACTION.

Il y a cependant un autre élément dont il faut tenir compte : c'est la rapidité avec laquelle se décompose le mélange explosif. Cet élément, qui échappe à l'analyse, a une valeur pratique incontestable. On comprend du reste que, les effets de rupture étant la conséquence d'un véritable choc, l'instantanéité de l'action ait une grande influence sur le résultat. On le vérifie par l'expérience suivante : une poudre binaire formée de 80 p. 0/0 de nitrate de potasse et de 20 p. 0/0 de charbon, donne, pour un gramme, 820 calories et 40 p. 0/0 de gaz. Le produit de ces deux termes, 328, est supérieur à ceux que l'on obtient avec les mélanges ternaires dont nous avons donné tout à l'heure la composition. À l'essai cependant ces mélanges ternaires ont une puissance d'explosion notablement supérieure. Ainsi le soufre, qui n'a pas d'influence directe sur la production du gaz et de la chaleur, ajoute à la force du mélange explosif en favorisant la propagation de la combustion dans la masse et la rapidité des réactions.

Cette remarque est importante à faire, parce qu'en abordant l'étude des nouveaux explosifs chimiques, nous allons nous trouver en présence de corps dont la puissance tient en grande partie à la rapidité, on peut dire à l'instantanéité de la décomposition, et un des progrès les plus importants réalisés dans l'emploi de ces matières a été d'assurer cette instantanéité.

Déjà, dans la préparation de la poudre noire, nous nous efforçons d'atteindre ce but en cherchant, par les moyens mécaniques les plus puissants, à rapprocher les molécules des matières composantes. Après les avoir divisées en poussière impalpable, nous les comprimons sous des meules pesant plusieurs milliers de kilogrammes ; nous les incorporons, suivant l'expression consacrée ; nous savons en effet que, plus cette incorporation est parfaite, plus vive est la poudre. Mais nous avons beau faire, les moyens mécaniques les plus puissants n'arrivent pas à briser une molécule, et, au moment de l'explosion, les atomes qui ont à se réunir pour former de nouvelles combinaisons doivent encore passer d'une molécule à une autre. Il n'en est pas de même dans l'explosif chimique. Ici la molécule elle-même est un explosif complet ; la réaction se passe dans le sein

même de la molécule. Il fallait tout à l'heure à l'atome un parcours relativement considérable, peut-être un millionième de millimètre; maintenant, c'est sans doute par le milliard qu'il faudrait diviser le millimètre pour mesurer la distance que l'atome a à parcourir.

EXPLOSIONS SPONTANÉES.

Mais de cette facilité si grande que devaient trouver les atomes à se réunir est née, dans la pratique, un danger qui n'existait pas avec l'ancienne poudre. On avait avec elle une stabilité, une fixité complète. Si un accident avait lieu, on pouvait être certain que, connue ou non, il y avait une cause extérieure. Avec les explosifs chimiques, a paru un fantôme nouveau, terrible, toujours menaçant, celui des explosions spontanées, explosions arrivant sans cause extérieure, par la réaction de la matière sur elle-même.

Les premiers explosifs chimiques employés, le fulmicoton, les pyroxyles dans leur première forme, ont dû être abandonnés à cause des doutes que de nombreux accidents ont fait concevoir sur leur stabilité. Mais on est arrivé depuis à la certitude que tous les corps pyroxylés n'étaient pas dans le même cas, que cette instabilité tenait à des causes qui pouvaient être combattues efficacement, et, quoiqu'il y eût dans la solution du problème des difficultés d'une nature toute spéciale, on peut dire qu'il est aujourd'hui résolu, et la meilleure preuve à en donner, c'est que les nouveaux explosifs n'occasionnent pas plus d'accidents que l'ancienne poudre; ils en occasionnent même beaucoup moins, et les malheurs qui arrivent tiennent presque toujours à l'ignorance où l'on est encore des propriétés de ces matières, et ils deviendront par conséquent de plus en plus rares, à mesure qu'on les connaîtra mieux.

SENSIBILITÉ.

À la stabilité d'une matière se rattache, au point de vue de la sécurité qu'elle présente, la sensibilité, c'est-à-dire la facilité à partir sous le choc. Ces deux propriétés sont cependant indépendantes l'une de l'autre. Le fulminate de mercure, par exemple, est d'une grande sensibilité, mais sa fixité n'a jamais été mise en doute. La sensibilité d'un explosif est du reste une question relative; elle dépend de l'usage auquel il est destiné. Ainsi les fulminates ne pourraient être employés à l'égal des explosifs ordinaires; mais, à l'état de capsules et d'amorces, enfermés par petites masses dans des alvéoles métalliques, ils remplissent parfaitement le but auquel ils sont destinés, en présentant une garantie suffisante.

Enfin, un dernier élément, le prix de revient ou la valeur vénale est d'une grande importance dans l'industrie; nous aurons également à en tenir compte; mais il est évident qu'il est corrélatif aux éléments précé-

dents. Un explosif, quelle que soit sa valeur, ne saurait être adopté, s'il ne présente pas de garanties suffisantes. Un explosif d'une valeur élevée ne sera relativement pas cher, si sa puissance est plus que proportionnelle à son prix.

CLASSIFICATION DES EXPLOSIFS.

Les explosifs proposés dans ces dernières années ont été très nombreux. Nous devons nous attendre à en voir paraître fréquemment de nouveaux; les diverses combinaisons que l'on peut faire avec les substances connues sont en effet, en quelque sorte, indéfinies; mais le plus souvent les différences sont insignifiantes, et les explosifs ne varient que par le nom.

On peut grouper tous ces corps par catégories, et, quand on connaît approximativement la composition des mélanges, avoir *à priori* une idée assez exacte de leur valeur.

Prenons, par exemple, l'ancienne poudre noire et substituons successivement à chacun de ses éléments, salpêtre, charbon et soufre, tous les composés susceptibles de jouer un rôle analogue. Remplaçons d'abord le nitrate de potasse par les nitrates de soude, de baryte, d'ammoniaque; puis par le chlorate de potasse; au charbon, substituons la sciure de bois, le tan, la suie, la résine, l'amidon, tous les corps contenant du carbone; quant au soufre, peu susceptible d'être remplacé, nous pouvons le prendre ou le supprimer; nous aurons ainsi la série des diverses poudres minérales ou mécaniques pouvant, dans certaines conditions, se substituer à l'ancienne poudre. Les explosifs chimiques, en élaguant ceux qui n'ont eu jusqu'ici qu'un intérêt de curiosité, se réduisent à trois : le pyroxyle, qui se présente sous deux formes, le fulmicoton et le bois nitrifié ou poudre Schultz; la nitroglycérine; l'acide picrique, qui a donné naissance à la série des picrates dont les seuls usités sont les picrates de potasse, de plomb et d'ammoniaque. En mélangeant l'un de ces explosifs chimiques avec l'un quelconque des explosifs minéraux de la série précédente, on peut créer un nombre presque indéfini d'explosifs, ayant chacun un caractère particulier et pouvant présenter une certaine valeur. Il s'agit cependant de choisir. Mais il faut observer d'abord que la valeur, c'est-à-dire la force de chacun de ces mélanges ne sera pas exactement la force des deux matières composantes. Il va se passer ici un phénomène analogue à celui que nous avons indiqué, quand nous avons fait ressortir le rôle du soufre dans la composition de la poudre. L'introduction d'un explosif chimique dans un mélange minéral d'une inflammation lente et, par suite, d'une puissance médiocre, a pour effet d'augmenter considérablement sa puissance. La décomposition de ce mélange subit l'entraînement de l'explosif plus rapide qui lui est associé, et sa puissance peut ainsi être doublée, triplée et quelquefois davantage.

MÉLANGES.

On comprend que, pour que cet effet se produise, il faut qu'il y ait entre des substances de natures si diverses un mélange très intime. La nitroglycérine, par sa nature fluide, se prêtant admirablement à ce rôle, c'est principalement avec ce liquide explosif qu'ont été imaginées les combinaisons les plus variées. Cependant il en a été essayé quelques-unes avec le pyroxyle, notamment un mélange de fulmicoton et de nitrate de baryte connu en Angleterre sous le nom de *tonite*. Cet explosif a pour caractère particulier d'être très peu sensible au choc; on l'a même essayé pour le chargement des obus. Les picrates ont peu de chance de réussir dans cet ordre d'idées, à cause de leur cherté relative. Il est difficile de comprendre comment ils peuvent être préférés à la nitroglycérine, plus forte, moins chère et plus facile à combiner. Cependant on a essayé de ce mélange sous le nom d'*héracline*.

Quant aux combinaisons dans lesquelles entre la nitroglycérine, il nous serait difficile de les citer toutes. Citons seulement, avec les dynamites n°s 2 et 3 de Nobel, répandues dans tous les pays, et qui sont, avec peu de variantes, des combinaisons de poudre et de dynamite: en Angleterre, la poudre d'Horsley, dans laquelle entre le chlorate de potasse; en Autriche, le Rhexit dans lequel le carbone est fourni par un terreau en décomposition; en Suède, la dynamite à l'ammoniaque et la sébastine, cette dernière reposant sur l'emploi d'un charbon très poreux et très absorbant; en Allemagne, le lithofracteur, la dualine, etc.; en Amérique, le rend-rok, la poudre de Vulcain, d'Hercule, etc.; toutes ces substances n'étant que des variantes des dynamites n°s 2 et 3, sous un autre nom.

MODE D'INFLAMMATION.

Tous ces mélanges présentent ce caractère remarquable de brûler sans faire explosion au contact d'une flamme ou d'un corps en ignition. La nitroglycérine, étant d'une combustion lente, communique ce caractère à tous les explosifs qu'elle compose. La poudre à canon elle-même, imbibée de nitroglycérine, fuse lentement par la simple inflammation et perd son caractère explosif.

Ainsi, pour utiliser les explosifs de cette nature, il fallait trouver un mode spécial d'inflammation. L'observation montrait que, tandis que ces corps ne faisaient pas explosion au contact d'une flamme, ils détonaient au contraire violemment sous l'action d'un choc plus ou moins vif. Le problème consistait donc à trouver un moyen simple et pratique de produire le choc au milieu d'une charge enfermée dans un espace absolument clos, comme la chambre d'un trou de mine. Le moyen le plus usuel, le seul employé

même, consiste à faire détoner au milieu de la masse une capsule fortement chargée.

Ce procédé, imaginé par M. Nobel, l'inventeur de la dynamite, appliqué d'abord par lui à l'explosion de la nitroglycérine liquide, a servi depuis pour tous les composés dérivés et s'applique même aux autres substances et spécialement au coton-poudre comprimé.

COMBINAISONS ENTRE EXPLOSIFS CHIMIQUES.

Pour compléter la série des mélanges explosifs, il faudrait examiner les combinaisons des composés chimiques entre eux. Ces combinaisons se réduisent jusqu'ici à une seule, celle de la nitroglycérine et du coton-poudre. Ce mélange des deux explosifs les plus puissants devait donner un corps d'une très grande force. C'est, en effet, comme tel qu'il a été utilisé pour la préparation d'amorces spéciales; mais il n'a pu guère être employé en dehors de ces usages; le coton-poudre est un mauvais absorbant, et l'huile explosive se séparant facilement, le mélange manque de fixité; il est considéré comme dangereux.

Néanmoins cette combinaison si séduisante devait conduire M. Nobel à la découverte d'un nouvel explosif qui présente des caractères très remarquables. C'est le corps dont on trouve des spécimens à l'exposition française sous le nom de gomme explosive ou dynamite-gomme, et à l'exposition autrichienne sous le nom de gélatine-dynamite. Nous y reviendrons tout à l'heure.

Examinons maintenant la série des corps explosifs, au triple point de vue de la force, de la sécurité et de la valeur vénale. C'est de cet examen que devra dépendre notre choix définitif.

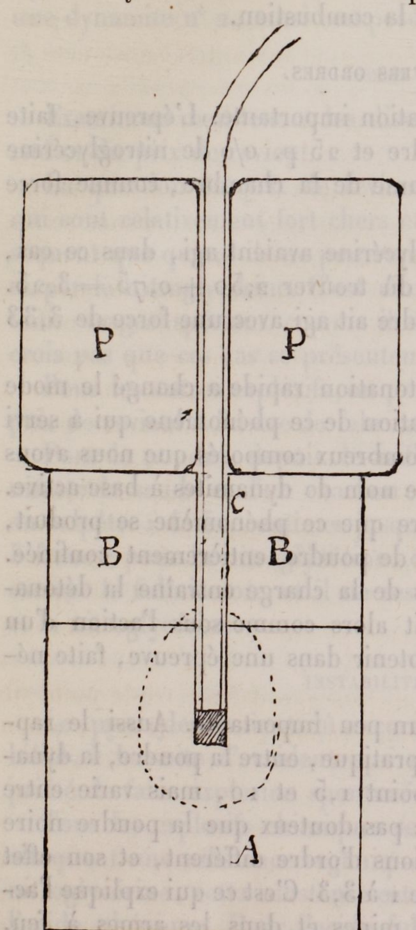
ÉPREUVES DE FORCE.

Pour connaître la force d'un corps explosif, le plus sûr criterium est l'emploi; mais cet emploi est soumis, dans la pratique, à des conditions tellement variables, que les résultats en sont longtemps incertains, et ce n'est que par un long usage que l'on arrive à fixer son opinion. On peut s'en rendre compte par des épreuves; mais, comme elles se font toujours dans des conditions assez différentes de celles de l'emploi, on ne doit en accepter les données qu'avec une certaine réserve.

Ainsi l'épreuve la plus usuelle, parce qu'elle n'exige aucun instrument et se trouve à la portée de tous, consiste à observer l'effet produit sur une plaque métallique par un poids déterminé de matière. En prenant une plaque de fer doux et en limitant la charge de manière à ne pas la couper, on la courbe seulement et on peut prendre le degré de courbure pour mesurer la force de l'explosif. Ce procédé ne permet de comparer entre eux que des corps semblables comme les diverses espèces de dyna-

mites. Il devient très incertain et même inexact pour des corps de nature différente.

Le moyen suivant est beaucoup plus exact, car il place à peu près les matières dans les conditions de leur emploi; mais il est peu usuel et exige beaucoup de soins.



Dans un bloc en plomb de forme cylindrique A, nous creusons une chambre de 4 centimètres de profondeur pour 1 centimètre de diamètre *c*. Au fond de cette chambre, nous plaçons une charge uniforme pour chaque espèce d'explosif, 2 grammes. Sur cette charge, nous plaçons la capsule fulminante munie de sa mèche. La chambre est remplie ensuite d'un bourrage aussi serré que possible. Quand l'explosif le permet, quand il ne contient pas de corps soluble, on remplit simplement avec de l'eau. Au-dessus de ce bloc, nous en plaçons un second B, le recouvrant parfaitement, les surfaces de contact étant alésées. Ce bloc supérieur est percé d'un canal donnant passage à la mèche. Au-dessus, nous chargeons avec de très forts poids P, de manière à rendre l'adhérence des deux blocs aussi complète que possible.

La charge étant enflammée, la matière explosive détone dans un espace absolument clos, dans des conditions comparables au chargement d'une mine. Elle forme, au milieu de la masse de plomb, une chambre dont les dimensions peuvent être prises comme mesure de la force relative de l'explosif. La capacité de cette chambre est mesurée facilement au moyen de la quantité d'eau qu'elle peut contenir. Ce procédé a donné les relations suivantes en nombre rond. La force de la poudre de guerre étant prise pour unité :

Poudre noire	1
Picrate de potasse	5
Fulmicoton	7,50
Nitroglycérine	10

On a pu vérifier par cette méthode que toutes les poudres donnent sensiblement le même résultat. La poudre extrafine de chasse, qui contient

le dosage maximum de salpêtre, et qui a subi les manipulations les plus parfaites, a donné exactement la même chambre que la poudre de mine placée à l'autre extrémité de l'échelle ; le résultat est conforme à celui qui est donné par le calcul des produits de la combustion.

EXPLOSIONS DE DIVERS ORDRES.

Nous avons à faire une autre observation importante. L'épreuve, faite avec un mélange de 75 p. o/o de poudre et 25 p. o/o de nitroglycérine (dynamite n° 3), a donné, par le volume de la chambre, comme force relative, 5.

Si cependant la poudre et la nitroglycérine avaient agi, dans ce cas, avec leurs forces séparées, on aurait dû trouver $2,50 + 0,75 = 3,25$. Pour avoir obtenu 5, il faut que la poudre ait agi avec une force de 3,33 au lieu de 1.

Ainsi, la présence d'un explosif à détonation rapide a changé le mode d'explosion de la poudre. C'est l'observation de ce phénomène qui a servi de point de départ à la formation des nombreux composés que nous avons énumérés et que l'on a désignés sous le nom de dynamites à base active.

Néanmoins il y a tout lieu de croire que ce phénomène se produit, au moins en partie, dans une charge de poudre entièrement confinée. L'inflammation des premières portions de la charge entraîne la détonation de la masse entière, qui se conduit alors comme sous l'action d'un détonateur initial. Cet effet ne peut s'obtenir dans une épreuve, faite nécessairement avec une charge minime.

Il doit se produire dans une masse un peu importante. Aussi le rapport des forces que l'on trouve, dans la pratique, entre la poudre, la dynamite n° 3 et la nitroglycérine, n'est point 1,5 et 10, mais varie entre cette limite et 3,5 et 10. Il n'est donc pas douteux que la poudre noire est susceptible de produire des explosions d'ordre différent, et son effet peut varier, suivant les circonstances, de 1 à 3,3. C'est ce qui explique l'action différente de ces poudres dans les mines et dans les armes à feu. C'est pourquoi, malgré toutes les recherches, il a été jusqu'ici impossible de déterminer exactement la force relative usuelle de la poudre comparée aux autres explosifs.

Tous les explosifs, du reste, sont soumis à cette loi ; ils produisent, suivant les circonstances, des explosions d'ordre différent. Ainsi la dynamite, qui ne produit aucun effet quand elle est enflammée en plein air, sans pression, reprend, en partie au moins, la propriété de détoner, quand elle est confinée, sous l'action, par exemple, d'une charge de poudre vive. Connaissant la force de chaque explosif pris isolément, la méthode que nous venons de décrire permettra de calculer *à priori*, au moins approximativement, la force d'un mélange.

Si, par exemple, nous voulons savoir la force d'un mélange formé de 50 p. o/o de nitroglycérine et de 50 p. o/o de poudre, nous prendrons $5+1,50=6,50$. C'est le résultat obtenu dans les blocs de plomb par une dynamite n° 2, ainsi composée.

PRIX DE REVIENT.

Examinons maintenant les divers explosifs au point de vue de la sécurité et du prix de revient.

La question du prix de revient nous fera d'abord exclure les picrates, qui sont relativement fort chers et qui ne devront être employés par conséquent que quand ils ne pourront être remplacés ni par le coton-poudre ni par la nitroglycérine. C'est ainsi qu'ils pourront être utilisés pour certains usages spéciaux comme il s'en présente dans l'art militaire; je ne crois pas que ces cas se présentent dans l'industrie.

Pour les autres explosifs, on peut admettre les limites suivantes, comme prix de revient à l'usine de fabrication.

Pour la poudre, depuis le mélange le plus simple, comme celui du nitrate de soude et d'un charbon commun, jusqu'à la poudre la plus riche en salpêtre : de 50 centimes jusqu'à 1 franc; pour le coton-poudre, de 4 à 5 francs; pour la nitroglycérine, de 3 à 4 francs. Cette considération fait exclure le fulmicoton, et il ne reste réellement en présence que la poudre et la nitroglycérine.

INSTABILITÉ DES PYROXYLES.

Les pyroxyles avaient dû encore être abandonnés à cause de leur instabilité, à la suite d'accidents qui ne laissaient aucun doute sur leur propriété de faire explosion spontanément. Voici la cause de cette instabilité.

Tous les explosifs chimiques se préparent d'une manière uniforme, en attaquant une substance organique par l'acide azotique concentré. Pour la nitroglycérine, cette substance est la glycérine. Pour l'acide picrique, c'est l'acide phénique. Pour l'acide fulminique, servant à préparer le fulminate, cette base est l'alcool. Enfin, pour le pyroxyle, c'est le coton. Comme il se forme dans la réaction un certain nombre d'équivalents d'eau, on ajoute à l'acide azotique une quantité d'acide sulfurique concentré suffisante pour s'emparer de cette eau. Cet acide est ensuite séparé à un état d'hydratation plus complet; il ne joue pas d'autre rôle. Quant à l'acide azotique introduit dans le mélange, il n'est jamais entièrement consommé dans la réaction, et il se forme toujours une certaine proportion de sous-produits qui sont, de leur nature, très instables; tels sont les acides azoteux, hypo-azotique, etc. La présence de ces produits instables entraînerait plus ou moins rapidement la décomposition de la matière. Il faut donc la laver avec le plus grand soin, la passer dans des lessives alcalines, et

elle ne doit être mise dans la circulation que quand elle ne présente plus de traces de réaction acide. Or cette prescription ne présenterait pas un caractère aussi absolu, si elle n'avait pour but que l'exclusion de l'acide sulfurique, dont la présence n'est pas nuisible, — les expériences les plus précises l'ont démontré, — mais elle est indispensable parce que c'est le seul moyen d'être assuré qu'il ne reste pas trace de ces produits azoteux dont la présence doit amener tôt ou tard la décomposition de la matière.

Or, s'il est facile d'obtenir et de contrôler la neutralité absolue d'un corps cristallisable comme l'acide picrique, ou d'un liquide lourd, comme la nitroglycérine, qui se sépare des eaux de lavage par le fait seul de sa densité, il n'en est pas de même d'un corps comme le coton, dont certains filaments, au milieu d'une masse un peu considérable, peuvent, malgré tous les soins, conserver des traces d'impureté. C'est ce qui est arrivé pour le fulmicoton, qui eût été entièrement abandonné sans la transformation que lui ont fait subir MM. Abel et Brown.

GUN-COTTON COMPRIMÉ.

Dans le nouveau procédé, le fulmicoton, déchiré et réduit en pulpe par des machines analogues aux piles à papier, est soumis à une série de lavages méthodiques, puis essoré et comprimé à la presse hydraulique. On a ainsi la poudre-coton comprimée, ou *gun-cotton* des Anglais, explosif d'une grande puissance, insensible aux variations atmosphériques, d'un maniement sûr et commode, fusant simplement à l'air libre, ne faisant explosion que par l'action d'un détonateur initial très fort (capsule chargée d'un gramme au moins de fulminate), et qui, par suite de ces propriétés, a été adopté par certaines puissances pour les services militaires.

Cependant, même sous cette forme, il n'a pas paru présenter toujours des garanties suffisantes; quelques accidents ont encore fait planer des doutes sur sa stabilité, et il a fallu que M. Brown ait démontré qu'étant conservé à l'état humide il pouvait faire explosion et être employé au moyen d'une amorce de fulmicoton sec, pour qu'il ait repris une place dans les armements militaires et maritimes. Néanmoins la cause de cet explosif, même pour les usages spéciaux, n'est pas encore gagnée définitivement. En tout cas, on peut dire qu'elle est perdue pour les usages industriels, et nous n'y reviendrons pas.

Nous n'avons pas à nous occuper de l'ancienne poudre ni des mélanges analogues au point de vue de la stabilité, et nous passons à la nitroglycérine.

STABILITÉ DE LA NITROGLYCÉRINE.

L'énorme quantité de nitroglycérine préparée dans ces dernières années pour suffire à la fabrication de la dynamite, les nombreux échantillons conservés par les fabricants dans les laboratoires, ne peuvent laisser de

doute, d'une part, sur la stabilité de cet explosif quand il est parfaitement neutre, d'autre part, sur la facilité de l'obtenir en cet état d'une manière certaine dans une fabrication régulière.

Dans ces conditions, on a pu conserver pendant plusieurs années des flacons de nitroglycérine soumis à toutes les influences atmosphériques, sans que la matière ait présenté aucune trace d'altération. M. Nobel en possédait, en 1875, un flacon — et je pense qu'il l'a encore — qui remontait à une époque antérieure à la première apparition de la nitroglycérine dans l'industrie; il avait donc au moins douze ans d'existence. On peut chauffer la nitroglycérine au bain-marie à 80 degrés, peut-être plus haut encore, et la conserver à cette température une journée entière sans amener sa décomposition. Cet explosif présente donc toutes les garanties de stabilité désirables quand il est convenablement préparé.

SENSIBILITÉ DE LA NITROGLYCÉRINE.

Il peut aussi supporter des commotions très violentes sans faire explosion, et il ne détone, mais alors assez facilement, que quand il est choqué entre deux corps durs.

Il est encore bien des personnes qui croient qu'en portant à la main un flacon de nitroglycérine leur vie serait en danger si elles le laissaient échapper. Il n'en est rien. Dans des chantiers où l'on fabriquait de la nitroglycérine, nous avons vu des flacons de ce liquide, lancés d'une grande hauteur sur le sol de la carrière, s'y briser sans faire explosion. Voici une expérience toute récente :

Quatorze récipients de diverses natures, contenant de 100 à 300 grammes de nitroglycérine, ont été lancés d'une hauteur de 50 mètres, au bord de la mer, sur les rochers du rivage. Quatre seulement sur ce nombre ont fait explosion. Sur quatre flacons en verre, deux ont éclaté; sur quatre bouteilles en grès, une seulement; sur trois bidons en zinc, un seul. Enfin, sur trois bidons en fer-blanc, aucun n'a fait explosion. Les récipients, déformés ou brisés par la chute, ont été retrouvés au milieu de la nitroglycérine qui s'était répandue autour d'eux. La nature du récipient paraît avoir peu d'influence; la cause de l'explosion tient probablement à la manière dont le choc se produit au moment de la chute. Tous les flacons étaient hermétiquement bouchés, car, s'il y avait eu la moindre fuite, il n'est pas douteux que le choc eût déterminé l'explosion. Il est donc probable, certain même, que les catastrophes survenues il y a quelques années, pendant le transport de la nitroglycérine, accident d'Aspinwald, de San-Francisco, de Quenast, de Carnarvon, etc., ont eu pour cause une fuite dans les récipients; et si l'on doit continuer à proscrire le transport de cet explosif, ce n'est pas, comme on le voit, qu'il soit beaucoup plus sensible aux commotions que les substances de cet ordre, mais c'est

que, par suite de sa nature liquide, il est impossible d'être assuré contre le coulage. Or le coulage de cette matière est très dangereux à cause de sa sensibilité au choc.

Il se présente ici un phénomène qui demande quelques explications.

DÉTONATION PAR CHOC.

Si l'on répand sur une plaque de fer de la nitroglycérine, et que l'on frappe avec un marteau, la partie choquée seule détone; la même expérience peut se faire avec tous les explosifs, même avec la poudre. On dispose sur une enclume une traînée de poudre, de picrate, de dynamite, etc., et, par un choc suffisant on fait détoner la partie frappée, sans que le restant de la traînée fasse explosion. D'où vient donc que, si, dans le transport des matières, il se produit un choc suffisant pour en enflammer une partie, la masse entière détone?

L'observation suivante peut, je crois, en donner l'explication. Si, au lieu de laisser la traînée à nu sur l'enclume, on la recouvre d'une feuille de papier, la traînée entière détone par le choc. Ainsi le moindre obstacle a suffi pour permettre au mouvement vibratoire qui produit l'explosion de se communiquer dans toute la masse, tandis que, sans cet obstacle, le mouvement initial n'avait d'autre effet que d'écarter, quelquefois de projeter la masse environnant la partie choquée. Les expériences les plus curieuses en ce genre se font avec le coton-poudre ordinaire, qui est de tous les corps explosifs celui qui se prête le mieux à ces observations à cause de sa faible densité. On fait partir au milieu d'une masse de fulmicoton une capsule ou même une cartouche-amorce de dynamite; le fulmicoton est dispersé sans faire explosion. Il suffit, pour le faire détoner, de le tasser à la main autour de la capsule en l'entourant d'une feuille de papier, même d'un filet. Il faut donc, pour qu'une masse détone sous l'action d'un détonateur initial, c'est-à-dire d'un choc, qu'elle soit maintenue par une certaine résistance; or, dans l'usage, cette résistance provient, soit du récipient dans lequel l'explosif est contenu, soit encore de la masse même du corps [1].

EMPLOI DE LA NITROGLYCÉRINE LIQUIDE.

Un explosif liquide susceptible de détoner par le choc ne peut être mis dans la circulation. Le moindre suintement hors du récipient serait une cause de danger imminent. Aussi le transport de la nitroglycérine est-il interdit dans tous les pays. L'usage n'en est permis qu'à condition de la fabriquer sur place; or, avec cette restriction, cet usage est peu intéressant. Si,

[1] On fait encore l'expérience suivante. On place quelques fragments de dynamite sur une tête de clou à demi enfoncé dans le bois; on peut frapper avec un maillet; tant que le clou peut encore s'enfoncer, la dynamite ne part pas.

pour l'employer, on se sert d'étuis ayant le même diamètre, ou à peu près, que le trou de mine, les opérations sont difficiles, et l'on perd une partie de la force, à cause du vide qui existe nécessairement entre l'étui et les parois; si l'on verse directement le liquide dans le trou, en supposant que la disposition des lieux le permette, on crée une source de dangers. Le liquide s'infiltre dans la moindre fissure, et le mineur faisant un trou à distance peut provoquer une explosion. D'autre part, la nitroglycérine ne peut être préparée sur place en dehors d'un atelier bien organisé que dans des conditions très onéreuses. Telles sont les raisons pour lesquelles son usage a été presque complètement abandonné.

Ainsi, résumant les propriétés de la nitroglycérine, on voit que cet explosif avait sur les autres tous les avantages: force plus grande, prix de revient relativement moins élevé, stabilité chimique complète et facile à obtenir; mais sa nature fluide était un obstacle à son emploi industriel. Le problème à résoudre consistait donc à transformer le liquide en solide. L'inventeur, M. Nobel, en a donné la solution par la création de la dynamite.

DYNAMITE.

La dynamite sera donc un explosif formé de nitroglycérine et d'un corps absorbant lui servant de véhicule. L'idée la plus naturelle était de prendre comme absorbant un autre explosif, la poudre, par exemple, et l'on peut voir en effet, dans le premier brevet de M. Nobel, la proposition de mélanger les matières à poudre avec la nitroglycérine. Mais ce mélange n'offre que de médiocres avantages, à cause de la faible proportion de nitroglycérine qu'il peut contenir, sans dépasser la limite de saturation où une séparation ultérieure est à craindre. Il fallait donc trouver un récipient capable de renfermer et de conserver une proportion plus forte. C'est ainsi que l'inventeur a été conduit à employer une variété de sables siliceux qui présente, à cet égard, les propriétés les plus remarquables.

DYNAMITE AU KIESELGUHR.

Ces sables abondants dans certaines parties du Hanovre, dans le voisinage de Hambourg, où a été établie une des premières fabriques de nitroglycérine, ont été trouvés depuis dans la région du Puy-de-Dôme. Connus en Allemagne sous le nom de *Kieselguhr* (farine siliceuse), ils ont pris en France celui de *randanite,* du nom du pays de Randan, où ils ont été observés pour la première fois. Ces sables, appartenant à la famille des *tripolis,* résultent de dépôts lacustres de formations récentes. Examinés au microscope, on reconnaît qu'ils se composent d'une agglomération de carapaces siliceuses. Ce sable brut, d'abord soumis à la calcination, de manière à détruire toute trace de matière organique, est ensuite trituré et bluté

finement. Ces carapaces ont une telle résistance et une telle élasticité, que le broyage ne les détruit pas, et une telle finesse, qu'elles absorbent trois fois leur poids de nitroglycérine sans changer sensiblement la densité, 1.6. Cette substance, adoptée dans tous les pays, a servi de base à la préparation de la dynamite la plus répandue, connue sous le nom de dynamite n° 1, à 75 p. o/o de nitroglycérine. Son caractère est de présenter une grande fixité mécanique. Le liquide emprisonné dans les cellules microscopiques n'a pas de tendance à s'en échapper. On peut voir des cartouches de cette dynamite d'une fabrication déjà ancienne, formée d'une pâte très grasse, ne donner cependant aucune goutte d'huile sur le papier des cartouches, et avoir, dans toutes leurs parties, la même composition.

Les variations habituelles de la température et l'humidité de l'atmosphère ne provoquent pas la décomposition de cette dynamite; il n'en est pas de même de l'eau, qui entraîne mécaniquement la nitroglycérine hors des réservoirs.

D'autres absorbants ont été essayés sans qu'aucun d'eux puisse remplacer complètement le *Kieselguhr*. Ainsi le carbonate de magnésie et certaines variétés de charbon très poreux peuvent bien absorber la même proportion de nitroglycérine, mais il n'y a pas les mêmes garanties de conservation.

DYNAMITE O.

On doit cependant faire une exception pour la dynamite à la cellulose, dans laquelle l'absorbant est la matière cellulaire du bois complètement purifiée. Cette dynamite contient également 75 p. o/o de nitroglycérine. Elle est inférieure à la dynamite *Kieselguhr,* comme moins dense et moins plastique; mais elle est sensiblement supérieure comme force, et elle ne redoute nullement l'action de l'eau. Cette dernière propriété la rend très précieuse pour les usages sous-marins; on peut employer les cartouches à toute profondeur d'eau et dans un courant, sans avoir besoin de boîtes étanches.

Au reste, la nitroglycérine étant complètement insoluble dans l'eau, la dynamite n° 1 peut également être employée dans les roches aquifères. Cependant on a signalé quelques accidents qui auraient sans doute été évités par l'emploi de la dynamite à la cellulose.

S'il se trouve une fente dans le rocher au fond d'un trou de mine envahi par les eaux, l'action du liquide peut entraîner de la nitroglycérine à une certaine distance. Le dernier rapport des inspecteurs généraux, en Angleterre, appelle l'attention sur ce fait. Des mineurs ayant été blessés en forant des trous de mine à une certaine distance de trous précédents, par une explosion, la cause de l'accident n'a pu être attribuée qu'à un coulage de

nitroglycérine. Ces faits sont très rares, et je ne sache pas qu'ils aient été jamais signalés en France. Quoi qu'il en soit, si des infiltrations de cette nature sont à craindre, on fera prudemment de préférer la dynamite à la cellulose, ou dynamite o.

FORMULES CHIMIQUES DE LA DÉTONATION.

Quant à la supériorité de force que présente la dynamite o sur la dynamite n° 1, voici comment on doit l'expliquer:

Nous avons vu que, comme élément principal, dans la détermination de la force d'un explosif, entre la quantité de chaleur développée au moment de l'explosion, dans la dynamite n° 1, la silice, corps inerte, absorbe nécessairement une quantité notable de cette chaleur pour être portée à la température du mélange. Il en résulte que la force de la dynamite n° 1 n'est point tout à fait proportionnelle à la quantité de nitroglycérine qu'elle contient; au lieu d'être de 750, en supposant 1,000 la force de la nitroglycérine, elle n'est que d'environ 700.

Dans la dynamite o, l'absorbant est combustible et composé en grande partie de carbone qui est comburé par l'excédent d'oxygène que donne la déflagration de la nitroglycérine. Il y a donc, dans ce cas, une réaction qui augmente la température du mélange au lieu de la diminuer; aussi cette dynamite a-t-elle, à poids égal, environ un huitième de plus de force que le n° 1.

Voici les formules relatives à la nitroglycérine telles que les a données M. Berthelot; elles feront comprendre ce que nous venons de dire.

La formule de la glycérine est $C^6H^8O^6$ ou $C^6H^2(H^2O^2)^3$. En ajoutant trois équivalents d'acide azotique, nous avons la nitroglycérine ou trinitrine:

$$C^6H^2(HO, Az O^5)^3,$$

l'eau ayant été expulsée par l'acide sulfurique.

Par l'explosion on a la réaction:

$$C^6H^2(HO, Az O^5)^3 = 6\,CO^2 + 5\,HO + 3\,Az + O.$$

On voit qu'il reste un équivalent d'oxygène qui peut être utilement employé dans la réaction. La connaissance de cette formule nous permet ici une amélioration. Il y a excès de corps comburant; on l'utilise en ajoutant un combustible. Il est à remarquer que, dans les autres explosifs chimiques, c'est, au contraire, le carbone qui domine, et, par suite, il y a intérêt à y ajouter un corps oxydant. Pour les picrates, comme pour les pyroxyles, il résulte de leur formule que la réaction donne principalement de l'oxyde de carbone; il y a donc avantage à les combiner avec un nitrate ou avec un chlorate, qui introduit dans la combinaison l'excédent d'oxygène

nécessaire pour la transformation de l'oxyde de carbone en acide carbonique.

Il serait cependant difficile de se guider absolument, pour combiner les mélanges, sur les résultats des analyses. L'analyse des produits de l'explosion d'une substance, très délicate dans tous les cas, ne peut guère être obtenue qu'avec l'explosion produite par la combustion. Mais la simple combustion ne donne qu'une explosion d'ordre inférieur; les résultats ne sont nullement ceux qui seraient donnés par l'explosion de premier ordre obtenu au moyen d'un détonateur. Il n'y a donc pas à s'étonner de la divergence des auteurs en ces matières, divergence qui a été surtout remarquée au sujet des pyroxyles. Il suffit que la déflagration de la substance ait été obtenue dans des conditions différentes, pour que les résultats des analyses soient différents. Mais on se rapprochera certainement de la vérité par une simple conception théorique, en supposant, conformément aux lois de la mécanique, que, dans le cas où il y a maximum d'effet, il y a formation des composés qui produisent le maximum de chaleur. C'est ainsi qu'on formera d'abord les équivalents d'eau, l'eau étant le composé qui dégage le plus de chaleur et qui a le plus de tendance à se former; puis viendront l'acide carbonique, et, s'il y a lieu, les carbonates puis les sulfates, si le soufre entre dans la composition, enfin l'oxyde de carbone et les corps simples.

Telle est la loi suivie pour établir la formule de la nitroglycérine. L'expérience en démontre l'exactitude. La combustion simple et les explosions d'ordre inférieur ne produisent qu'une décomposition incomplète de la matière et donnent des produits intermédiaires. On peut s'en apercevoir en brûlant quelques grammes de dynamite sous une cloche : elle est envahie par des vapeurs rouges d'acide hypo-azotique. La détonation de premier ordre, au contraire, ne donne que des gaz absolument incolores, comme il résulte de la formule.

Mais revenons à la dynamite.

DYNAMITES À BASE ACTIVE.

Les types que nous avons décrits, dynamites n° 1 et n° 0, forment exclusivement la série de ce que l'on a nommé les dynamites à base inerte, par opposition aux dynamites à base active, où l'absorbant est une matière explosive qui combine son effet avec celui de la nitroglycérine. Cette dernière série est en quelque sorte indéfinie, puisqu'elle comprend tous les explosifs possibles mélangés à la nitroglycérine. Cependant, dans la pratique, ces combinaisons se réduisent à un très petit nombre dont les types sont : la dynamite dite n° 3, formée de poudre et de 20 à 25 p. o/o de nitroglycérine, et les dynamites n° 2 qui sont en réalité des combinaisons des dynamites n° 3 et des dynamites n° 1 et n° 0. Les dynamites n° 3

varient suivant la composition de la poudre; mais on peut dire, d'une manière générale, que la composition la plus simple est la meilleure, car, sous l'action de la nitroglycérine, tous les mélanges produisent sensiblement les mêmes effets.

COMBUSTION SIMPLE.

Toutes les dynamites présentent, comme nous l'avons dit, le caractère de brûler simplement au contact du feu, sans faire explosion. Cette propriété, qui devrait être un élément de sécurité, a été, au contraire, jusqu'ici une cause d'accidents, et il est presque à regretter qu'elle soit connue des mineurs. Les ouvriers employant ces matières arrivent trop facilement à la conviction qu'un accident n'est plus possible, et ils ne prennent plus de précautions. Il n'est pas rare de voir conserver la dynamite dans les cuisines, sur les cheminées; nous avons vu dans une déposition qu'elle prit feu par une caisse restée ouverte dans une forge. Dans l'explosion d'Hamilton, en 1876, en Angleterre, la dynamite était conservée dans un atelier de menuiserie attenant à une forge, dont elle n'était séparée que par une cloison imparfaite. Or, s'il est vrai qu'une et plusieurs cartouches peuvent brûler impunément, il n'en est pas de même pour une quantité indéfinie. D'autre part, la résistance opposée par les récipients, la présence de corps étrangers, peuvent, dans certains cas, changer la nature des phénomènes, et il a toujours été impossible de déterminer, même approximativement, les limites dans lesquelles devait détoner une masse de dynamite. La même incertitude règne pour les autres explosifs. Les dynamites impures, avariées, notamment les dynamites mouillées, sont spécialement aptes à détoner par la simple combustion. Il ne faut, en tout cas, jamais perdre de vue que l'on se trouve en présence d'un explosif puissant, et ne pas s'exposer inutilement à des accidents imprévus.

ENCARTOUCHAGE DES DYNAMITES.

Au nombre des mesures les plus heureuses qui ont été adoptées pour l'usage de la dynamite, nous devons citer la mise en cartouche. Il doit être absolument interdit de mettre cette matière en circulation autrement que divisée en cartouches de peu de volume. Elle est ainsi infiniment moins susceptible de se décomposer et de laisser écouler la nitroglycérine. En complétant cette précaution par un emballage étanche et imperméable, en écartant les récipients métalliques, en entourant les cartouches d'une matière qui, telle que la silice ou la sciure de bois, absorbe la moindre trace du liquide exsudant, on est arrivé à obtenir une sécurité parfaite. Aussi, malgré la grande quantité de dynamite fabriquée pendant les dernières années, on ne connaît pas un seul accident provenant du fait du

transport ou de la conservation. On peut soumettre une caisse de dynamite à toutes les épreuves les plus difficiles, la laisser tomber d'une hauteur assez grande pour qu'elle se brise, l'écraser par la chute de poids considérables, la placer entre les tampons de wagons de chemins de fer; jamais on n'obtiendra d'explosion.

GAZ DES MATIÈRES EXPLOSIVES.

On a accusé quelquefois la dynamite de dégager des gaz malsains, qui, dans les galeries mal ventilées, gênent les ouvriers. Il y a eu confusion. Ces gaz ne sont en effet malsains et irrespirables que quand l'explosion a été incomplète. Avec la détonation franche, on a, au contraire, des gaz beaucoup moins fatigants qu'avec la poudre. Dans les galeries mal ventilées, les ouvriers travaillant à la poudre sont obligés d'interrompre leur travail pendant plusieurs heures, après chaque salve; avec la dynamite, ils peuvent retourner presque immédiatement sur le chantier. La poudre de mine, par sa composition, où domine le carbone par rapport à l'oxygène, dégage une forte proportion d'oxyde de carbone, gaz vénéneux, tandis que la dynamite ne produit que de l'acide carbonique. Nous connaissons deux circonstances où les ouvriers mineurs ont été asphyxiés en plein air, pour s'être rapprochés trop promptement de mines fortement chargées en poudre. Aucun fait de ce genre n'est imputable à la dynamite. Il n'est pas rare aujourd'hui de trouver des chantiers où les ouvriers mineurs, habitués à se servir de dynamite, déclarent formellement qu'ils ne veulent plus employer la poudre, tant par l'économie et la sécurité qu'ils y trouvent que parce qu'ils sont moins incommodés par les gaz.

DYNAMITE GELÉE.

Un inconvénient réel de la dynamite est de geler et durcir à une température assez élevée, à partir de 5 à 6 degrés au-dessus de zéro. Cet inconvénient est grave, non seulement par l'incommodité qu'il occasionne, mais encore par les accidents dont il est cause. Cependant la dynamite gelée ne coule pas, et elle est moins sensible au choc que la dynamite molle. On peut lancer avec force une cartouche gelée contre un mur ou contre une plaque métallique sans la faire détoner; mais si on la brise avec un instrument en métal, il y a danger d'explosion.

La dynamite gelée ne part pas avec les amorces ordinaires. Il faut employer des capsules contenant plus d'un gramme de fulminate, environ 1 gr. 50, et cela est peu pratique. Il faut donc dégeler les cartouches ou au moins la cartouche-amorce, et c'est dans cette opération qu'arrivent les accidents. Au lieu d'employer de l'eau chaude, les mineurs placent les cartouches sur un poêle ou devant le feu. Comme ils ont vu faire vingt fois cela par leurs camarades, sans inconvénients, ils s'imaginent que

l'opération est inoffensive; malheureusement il n'en est pas toujours ainsi, et ils finissent par être victimes de leur imprudence.

L'insensibilité relative de la nitroglycérine gelée a conduit, en Amérique, un fabricant bien connu, le Dr Mowbray, à utiliser cette propriété pour la transporter. Il la transforme en blocs de glace et évite ainsi le coulage. Je cite ce fait comme curiosité, sans y attacher aucune importance pratique. J'ai aussi entendu raconter à M. Nobel qu'arrivant un jour à la fabrique de Zamky, près de Prague, il y trouva deux barils de dynamite gelée auxquels personne n'osait toucher et dont on était fort embarrassé. Il prit un couteau à lame bien tranchante, et, découpant lui-même cette masse durcie, la transvasa dans des récipients maniables. Je n'oserai recommander à personne de recommencer cette expérience.

ACCIDENT DE PLANCOET.

Voici un accident de dynamite gelée récent et peu connu. Il me paraît curieux à citer pour caractériser les effets produits par l'explosion de la dynamite. Au printemps dernier, à Plancoet, en Bretagne, un chef mineur entra dans un café et mit trois cartouches de dynamite n° 1 (environ 250 grammes) à dégeler devant le feu, à 20 centimètres. Une des cartouches était amorcée, et, au bout d'un moment, l'explosion eut lieu. Les effets en furent si bizarres, qu'on ne peut les comparer qu'à ceux de la foudre. La maîtresse du café, qui se trouvait au milieu de la pièce, n'eut aucun mal. Le mineur, qui se trouvait dans le voisinage des cartouches, demeura sourd pendant quarante-huit heures; il eut un œil fortement endommagé, mais il s'en est guéri cependant. Un chat qui se trouvait dans la pièce a été paralysé pendant huit jours. Le feu de la cheminée fut éteint; les rideaux du lit disparurent entièrement; un pain de douze livres, placé dans une armoire voisine, traversa le plafond de la corniche et vint tomber au milieu de l'appartement sans que l'armoire fût ouverte.

On voit qu'il serait difficile de chercher à prévoir et à diriger les effets d'une explosion. On observe cependant que, tandis que l'action locale est très intense, l'action divergente est au contraire assez bornée, et il suffit d'un léger obstacle pour l'arrêter, de sorte que l'effet destructeur s'étend relativement moins loin qu'avec la poudre.

EXPLOSIONS D'ASCONA.

Ainsi, dans les explosions qui eurent lieu, en 1874, à la fabrique d'Ascona, on a fait les observations suivantes, qui sont relatées dans le rapport du colonel Sigfried au département fédéral des chemins de fer et du commerce. Dans l'explosion de mai 1874, deux dépôts de nitroglycérine, l'un

de 150, l'autre de 250 litres, sautèrent successivement. Un dépôt de 1,000 kilogrammes de dynamite, qui se trouvait dans un pavillon distant de 12 à 15 mètres des bâtiments détruits par l'explosion, demeura intact, bien que le pavillon lui-même fût tombé sur les caisses de dynamite et les eût brisées. En décembre 1874, il y eut une nouvelle explosion de 4,000 kilogrammes de nitroglycérine, qui ébranla dans ses fondements la ville d'Ascona, distante de 700 mètres. Cependant la foule des spectateurs qui étaient accourus au bruit d'une première détonation, et qui se trouvaient à une grande proximité, en fut quitte pour la peur, et, tandis que certains effets destructeurs se firent sentir à une grande distance, une fabrique située derrière des arbres, à 40 et 50 mètres de distance, fut complètement épargnée.

CHARGE DES MINES.

Dans les mines, la dynamite donne généralement moins de projection que la poudre; ce qui est facile à comprendre, puisque, par suite de l'instantanéité de l'explosion, l'action se produit plus uniformément dans toutes les directions. Il faut cependant que les charges soient bien calculées, ce qui ne peut se faire qu'en connaissant la résistance des matériaux. Si l'on est bien fixé sur ce point, on peut suivre avec confiance les formules données par les modes d'emploi. Nous pouvons citer notamment trois mines en galeries, chargées d'après les formules, de 600, 900 et 1,200 kilogrammes de dynamite, qui n'ont donné aucune projection et ont simplement renversé la montagne au pied de l'escarpement.

Le travail le plus remarquable en ce genre a été celui du général Newton dans la passe de New-York, où une roche sous-marine de 48,000 mètres cubes a été enlevée d'un seul coup au moyen de 6,740 mines chargées de 49,915 livres, soit environ 22,000 kilogrammes de dynamite de diverses espèces. La résistance de chaque mine était si bien calculée, qu'il n'y eut aucun effet anormal, et la commotion fut assez faible pour que des bâtiments très voisins n'aient pas même eu leurs vitres brisées.

AVANTAGES DE LA DYNAMITE.

Pour se rendre compte des avantages que présente la dynamite, il faut la comparer à la poudre, qui est en réalité sa seule rivale. Ces avantages sont de deux sortes: 1° possibilité d'entreprendre certains travaux pour lesquels la poudre est impuissante; 2° économie de temps, d'hommes et d'argent. Ces résultats sont dus à la puissance du nouvel explosif et à la nature insoluble de la nitroglycérine. Ainsi, pour l'attaque des matériaux très durs, pour le percement des galeries dans le quartz et dans le granit, pour les entreprises dans les roches aquifères et pour les travaux sous-

marins, les avantages que présente l'emploi de la dynamite sont incontestables. Ils sont moins évidents dans les cas où l'usage de la poudre est possible, car les dépenses faites avec les deux matières sont égales, et quelquefois supérieures avec la dynamite. Ils n'en sont pas moins réels, si l'on tient compte de l'économie de main-d'œuvre et de temps. Cette économie résulte du fait de n'avoir à forer, pour un même abatage, qu'un moindre nombre de trous et d'avoir à donner à ces trous un moindre diamètre. Cette considération acquiert une grande importance pour des entreprises de longue durée employant un personnel considérable. La plus grande rapidité des travaux permet de gagner 30, 40, jusqu'à 50 p. 0/0 sur le temps qu'on eût mis avec la poudre.

TRAVAUX AGRICOLES.

La dynamite paraît devoir rendre encore de grands services dans des travaux d'un nouveau genre où la poudre ne peut convenir. Nous voulons parler des travaux de la terre, quand il s'agit d'ameublir profondément des terres incultes, de manière à diviser le sous-sol et à y faire parvenir les influences salutaires de l'air et de l'eau. On en trouve encore un emploi avantageux dans le défrichement des forêts, quand sont restées enfouies dans le sol de grosses souches d'arbres qu'on y laisse le plus souvent pourrir, à cause des frais excessifs que nécessiterait leur enlèvement, et qui deviennent le réceptacle des insectes nuisibles qui infestent les bois. Il est difficile de se rendre compte, en France, des bénéfices réels que peut procurer l'emploi de la dynamite, à cause des charges excessives qui pèsent sur cette matière. Ce n'est qu'à l'étranger que nous pouvons trouver des termes de comparaison. C'est par les publications étrangères que nous connaissons l'intérêt que présente la dynamite dans les travaux de la terre. Ces avantages nous sont interdits.

IMPÔT SUR LA DYNAMITE.

La loi du 8 mars 1875, en distrayant la dynamite du monopole de l'État, a frappé cette matière d'une taxe de 2 francs par kilogramme pour garantir les intérêts du Trésor, dans l'hypothèse qu'il est employé moyennement 1 kilogramme de dynamite pour 2 kilogrammes de poudre. Cet impôt proportionnel eût été assez exact, si les deux substances eussent été placées dans les mêmes conditions ; mais, par suite des rigueurs dont la dynamite est l'objet, ce n'est point 2 francs, mais 3 francs et peut-être plus qu'elle a à supporter. Il est donc impossible de comparer la dynamite et la poudre au point de vue économique.

On peut demander cependant d'où provient cette inégalité dans les conditions pour la poudre et pour la dynamite. Pourquoi la première

circule-t-elle sur toutes les voies sans difficulté et peut-elle être entreposée partout, de manière à être à la portée de tous, tandis que la dynamite ne peut ni circuler ni être entreposée, de sorte qu'il est extrêmement difficile de s'en procurer, et que, quand on s'en procure, on la paye fort cher.

Ce n'est certes pas que la dynamite ait donné lieu à plus d'accidents que la poudre. Non seulement il ne doit pas en être ainsi théoriquement, mais le fait ressort de toutes les enquêtes. Personne ne peut contester que, dans les chantiers, il arrive moins et même beaucoup moins d'accidents avec la dynamite qu'avec la poudre; mais, tandis qu'une explosion occasionnée par la poudre paraît en quelque sorte toute naturelle, — c'est à peine si l'on y fait attention, — le moindre accident arrivé avec la dynamite est signalé comme un fait d'une gravité extraordinaire; que même il arrive une catastrophe avec un explosif nouveau et inconnu, c'est la dynamite qui en supportera la conséquence. Mais voici qui est encore mieux :

CATASTROPHES DE BANDOL ET DE BREMERHAFEN.

En 1871, à une époque de sinistre mémoire, un convoi de poudre envoyé d'urgence de Toulon est placé dans un convoi de voyageurs. Une explosion épouvantable arrive dans le voisinage de la petite ville de Bandol. Une centaine de personnes sont tuées ou blessées; le dégât matériel et les indemnités se sont liquidées par une dépense de deux millions. C'est certainement un des accidents les plus malheureux occasionnés par les matières explosives, et il est d'autant plus grave, qu'il doit être attribué au vice même de la matière transportée; car il est bien certain que le feu a été mis par suite du coulage de la matière sur la voie.

Or, quelles ont été les conséquences de cette catastrophe ? Aucun règlement nouveau n'a empêché ni la circulation ni la distribution de la poudre. Les chemins de fer n'en ont pas transporté un kilogramme de moins, mais les compagnies ont refusé absolument de transporter la dynamite. Ainsi la poudre a acquis, par ses vieux services, le droit d'être nuisible. C'est un droit qui ne s'accorde qu'à l'ancienneté. La dynamite est trop nouvelle pour avoir cette prétention; mais il est au moins illogique de la rendre responsable d'accidents où elle n'est pour rien.

Qu'un scélérat installe à Bremerhafen une machine infernale au moyen de laquelle il couvre de victimes le quai de la ville. Qu'il ait chargé son engin avec de la dynamite plutôt qu'avec du picrate ou du fulmicoton, en quoi cette circonstance peut-elle influer sur les qualités ou sur les défauts de la dynamite? C'est cependant sur l'attentat de Bremerhafen que se sont basées les compagnies de chemins de fer, en Allemagne d'abord, en France ensuite, pour refuser le transport de la dynamite.

Cependant, que, dans les premières années, on se soit tenu en garde contre une matière nouvelle et peu connue, cela se conçoit, et c'était un devoir. Les catastrophes retentissantes de la nitroglycérine, de cruelles déceptions avec le coton-poudre, imposaient une grande réserve. Mais aujourd'hui, après dix ans d'emploi, l'épreuve est faite, et l'on peut dire qu'elle est entièrement en faveur de la dynamite.

Nous ne demandons pas cependant pour ces matières une liberté illimitée; mais il n'y a pas de raison pour qu'elles ne soient pas assimilées à la poudre; à condition toutefois de prendre les mesures nécessaires pour qu'il ne soit mis en circulation, par les fabricants, que des marchandises bien conditionnées. Cette condition est indispensable, et je pense qu'il est facile de l'obtenir.

Ce qu'il importe de considérer, quand on compare les accidents arrivés par la dynamite et par la poudre, c'est que pour ceux provenant de la poudre, il s'établit une moyenne en quelque sorte constante. La matière est tellement connue, qu'il n'y a plus de progrès à espérer. Pour la dynamite, au contraire, on peut dire que tous les accidents arrivés pendant l'emploi auraient été évités, si les ouvriers eussent été mieux fixés sur les caractères de cette substance. C'est ainsi que, parmi ceux dont la cause a été nettement déterminée, nous voyons presque toujours ou le dégel des cartouches devant le feu, ou l'emploi des bourroirs métalliques formellements interdits.

DYNAMITE-GOMME.

Quoi qu'il en soit, la cause la plus probable des accidents est dans la possibilité de l'exsudation. Il y aurait donc un intérêt considérable à substituer au mélange mécanique qui constitue aujourd'hui la dynamite, une combinaison fixe qui supprimât cette imperfection.

C'est ce progrès que vient de réaliser M. Nobel, avec le nouvel explosif qui figure à l'Exposition sous le nom de dynamite-gomme ou gomme explosive.

Cet explosif est préparé en dissolvant et en malaxant dans la nitroglycérine une petite proportion de coton azotique soluble, environ 7 p. o/o; on obtient ainsi une substance gélatineuse remarquable, jouissant des propriétés suivantes : elle brûle simplement au contact de la flamme et ne fait explosion, du moins à l'air libre, que sous l'action d'un détonateur. Sa force est égale à celle de la nitroglycérine. Dans les blocs de plomb, elle donne un volume de chambre supérieur de 50 p. o/o à celui de la dynamite. Cette substance est d'une détonation relativement difficile. Dans les essais faits à l'air libre, une partie seulement de la ma-

tière fait explosion; le reste est projeté ou simplement brûlé. Il faut, pour lui faire produire tout son effet, l'employer à l'égal de la poudre, dans un espace entièrement confiné; on la fait détoner au moyen d'amorces spéciales.

La dynamite-gomme se conserve parfaitement sous l'eau, sans se décomposer et sans abandonner trace de nitroglycérine. Elle se recouvre dans ce cas, au bout d'un certain temps, d'une sorte d'hydrate qui disparaît par l'exposition à l'air.

DYNAMITE-GÉLATINE.

On arrive, par certains artifices, par exemple en mélangeant dans la matière une faible proportion de camphre, à lui donner une telle insensibilité qu'elle peut être employée dans tous les usages militaires.

Voici quelques expériences faites récemment par le comité du génie militaire autrichien : on a d'abord fait des essais dans l'intention d'éventer les torpilles et autres engins sous-marins, en lançant vers leur emplacement d'autres torpilles chargées de dynamite-gélatine. On est arrivé ainsi à découvrir toute une ligne de défenses sous-marines et à la rendre impuissante en déterminant son explosion.

Un petit cube de dynamite-gélatine d'un centimètre de côté a été soumis, pendant trois heures, à une pression de 2,000 kilogrammes; il n'y a pas eu la moindre trace d'exsudation. La pression cessant, le corps élastique reprend sa forme primitive.

Contre une plaque de fer de 2 centimètres d'épaisseur on a placé, dans un cadre, une couche de gélatine explosive de 1 centimètre d'épaisseur et l'on a tiré dessus, à la distance de 50 mètres, avec le fusil d'infanterie sans déterminer d'explosion.

Des amorces de 1 gramme de fulminate n'ont pu amener la détonation de la dynamite-gélatine, même en la plaçant dans une enveloppe de tôle; il en a été de même avec les cartouches-amorces au coton-poudre et nitroglycérine destinées à faire partir la dynamite gelée. Il a fallu préparer des amorces spéciales au moyen de coton-poudre nitré saturé de nitroglycérine.

Cette insensibilité peut, du reste, être modifiée suivant la proportion du camphre.

Tels sont, Messieurs, les faits principaux se rattachant à cet art des explosifs de rupture qui, né d'hier en quelque sorte, a pris déjà de si rapides développements. Les uns sont encore à l'état d'espérance et demanderont de nouvelles et laborieuses études; les autres sont entrés dans la pratique. Des usines nombreuses, des sociétés industrielles puissantes, ont la tâche de les exploiter. Quatorze fabriques de dynamite, établies

dans les diverses parties du monde suivant les procédés de M. Nobel, livrent à elles seules annuellement à la consommation 5 millions de kilogrammes de cette matière. L'usage de ces nouveaux explosifs a fait entreprendre des travaux qui eussent été autrefois considérés comme impraticables, a modifié profondément les méthodes d'exploitation, réalisé des économies considérables de temps, d'hommes et d'argent. Les industries des mines et des travaux publics leur doivent les progrès les plus importants. Mais tous les pays n'ont pas été également favorisés. Tandis que le Nouveau Monde, tandis que quelques contrées de l'ancien continent jouissent d'une législation libérale qui a permis à cette industrie de prendre tout son développement, d'autres pays, parmi lesquels j'ai le regret de compter la France, l'ont entravée par une réglementation excessive et nuisible. Je dis nuisible, car ces rigueurs ne correspondent à aucun intérêt. Loin de là, l'observation montre que c'est dans les pays soumis aux réglementations les plus excessives qu'il arrive le plus d'accidents. Cette assertion paraît paradoxale; elle n'est qu'exacte. Les abus de la législation ont pour effet, d'une part, d'entretenir l'ignorance, cause première de tous les malheurs; d'autre part, de pousser le public à se débarrasser d'entraves qu'il juge inutiles parce qu'elles sont exagérées. Rien n'est plus funeste, à tous égards, que la conservation et la circulation occulte de ces matières, et c'est cependant la seule ressource dans certaines conditions. J'aurais voulu, pour vous convaincre, parcourir les enquêtes faites en divers pays, et notamment en Angleterre, et vous seriez arrivés avec moi à cette conviction que les lois et règlements ne prévalent pas contre la nécessité, et qu'en cette matière, comme en beaucoup d'autres, la véritable et seule garantie est une sage liberté.

Vous êtes à la veille de créer de nouveaux et nombreux moyens de communication, les circonstances vous y obligent, car, si vous ne développez pas l'outillage industriel de la France, vous serez écrasés par la concurrence étrangère. Déjà les houilles de l'Angleterre arrivent à la porte de vos minières; demain l'Amérique vous inondera des produits de sa métallurgie. On vous le disait naguère, ici même, dans une conférence dont vous avez sans doute gardé le souvenir. Or, pour compléter rapidement votre outillage, pour creuser à bref délai des ports et des canaux, pour construire de nouvelles lignes de chemins de fer, il faut des explosifs puissants. Pour donner de l'aliment à ces nouvelles lignes et à ces nouveaux canaux, pour ne pas les exposer à périr d'inanition, il faut féconder et multiplier les travaux de la terre, défoncer les landes, cultiver les terrains en friche, reboiser les pays montagneux; il faut mettre en exploitation les mines concédées et restées oisives depuis si longtemps. Il faut pour cela des explosifs puissants et à bas prix. La poudre et la dynamite sont pour tous ces travaux des auxiliaires utiles, indispensables; favorisez-en l'emploi par tous les moyens.

Simplifiez les formalités, diminuez les impôts, et, s'il arrive que les recettes du Trésor soient légèrement entamées par la diminution de l'impôt des poudres, soyez convaincus que ce léger dommage sera plus que compensé par les richesses que vous aurez créées.

La séance est levée à 4 heures.

PALAIS DU TROCADÉRO. — 13 AOÛT 1878.

CONFÉRENCE

SUR

L'EMPLOI DES EAUX EN AGRICULTURE

PAR LES CANAUX D'IRRIGATION,

PAR M. DE PASSY,

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES, EN RETRAITE.

BUREAU DE LA CONFÉRENCE.

Président :

M. BARRAL, secrétaire perpétuel de la Société d'agriculture de France.

Assesseurs :

MM. BÉRENGER, de la Drôme, sénateur.
LEMERCIER, membre du conseil d'administration de la compagnie d'Orléans.

La séance est ouverte à 2 heures.

M. BARRAL, *président.* Mesdames et Messieurs, M. de Passy, ingénieur en chef des ponts et chaussées, en retraite, a bien voulu venir traiter devant vous la question de l'application des eaux à l'agriculture, ou, en d'autres termes, de la création de canaux d'irrigation.

Le midi de la France serait perdu, en présence des fléaux qui l'accablent aujourd'hui, s'il n'avait pas d'eau ; et si l'on ne tente pas de lui en donner encore davantage, la stérilité continuera à frapper une grande partie de ces régions dont le sol est éminemment propre à recevoir toutes les cultures, alors qu'en même temps une température propice et une intensité de lumière remarquable assureraient une vigoureuse végétation, à la seule condition d'arrosages abondants.

Il y a donc là, vous le voyez, une question qui intéresse au plus haut

point toute une partie de notre pays en particulier, mais qui intéresse aussi, soyez-en convaincus, toutes les autres régions de la France, car les canaux contribuent partout à la prospérité des récoltes. Dans le Centre, par exemple, la richesse en fourrages n'est obtenue que par des irrigations faites sur une vaste échelle. Je vous citerai, parmi les départements qui ont tiré le plus grand profit des eaux d'arrosage, la Haute-Vienne et le Cantal, entre autres.

Dans tous les départements où il existe des canaux d'irrigation, le bétail s'est développé, les productions de la terre, les fourrages notamment, ont décuplé; par suite, ces contrées ont produit beaucoup de viande, ont amélioré d'une manière inattendue leurs cultures, et, malgré les mauvais systèmes encore suivis par un trop grand nombre d'agriculteurs, malgré l'emploi d'instruments souvent imparfaits, on a pu voir la force productive du sol augmenter et la richesse revenir.

Cette richesse d'un pays, basée sur les produits de l'agriculture, ne constitue pas seulement un avantage et un bien-être matériels, elle correspond aussi à un plus haut degré d'élévation pour la dignité et pour l'intelligence humaines.

Par conséquent l'application de l'eau à l'agriculture est la plus importante question agricole que l'on puisse traiter. Je donne la parole à M. de Passy, qui bien certainement la développera beaucoup mieux qu'il ne m'a été possible de l'aborder dans ces quelques mots improvisés.

M. de Passy. Monsieur le Président, Messieurs, je diviserai cette conférence en deux parties :

Dans la première j'expliquerai l'influence des eaux d'irrigation sur les cultures, et j'établirai la nécessité de donner en France un plus grand développement aux canaux d'irrigation.

Dans la seconde je justifierai les principes qui doivent être appliqués aux concessions de canaux d'irrigation pour en assurer le succès.

PREMIÈRE PARTIE.

L'irrigation est un des principaux éléments du progrès agricole.

Avec l'irrigation on obtient des prairies artificielles sur les terrains les plus arides, alors même qu'ils seraient composés presque exclusivement de sable et de gravier, comme les *garigues* de la plaine de Carpentras. Le fourrage sert à l'alimentation du bétail, le bétail à la formation du fumier et le fumier se transforme en céréales.

Les rapports officiels de M. Barral, secrétaire perpétuel de la Société

d'agriculture de France, sur les concours ouverts en 1875, 1876 et 1877, dans les départements des Bouches-du-Rhône et de Vaucluse, pour le meilleur emploi des eaux d'irrigation, rapports qui ont été publiés par les soins du Ministère de l'agriculture et du commerce et dont les quatre volumes constituent une statistique aussi complète qu'instructive des irrigations de cette région de la France, constatent qu'une irrigation bien dirigée a pour résultat de doubler, tripler et parfois même de décupler la force productive du sol et sa valeur vénale.

Les eaux d'irrigation agissent, en effet, sur la terre :

Par l'humidité qu'elles apportent,

Par les substances minérales qu'elles tiennent en dissolution,

Et par les matières solides qu'elles tiennent en suspension.

L'humidité est indispensable à la végétation. La terre la plus riche, le terreau le plus pur ne produisent rien, si on n'y ajoute une certaine quantité d'eau. Cette eau est-elle chimiquement pure? elle ne fait que donner au sol l'humidité qui lui manque. Renferme-t-elle, à l'état de combinaison, de l'azote, le principe fertilisant par excellence, de l'acide carbonique et de l'oxygène? elle devient un engrais. Contient-elle en suspension des matières solides qu'elle dépose à la surface dès que sa vitesse se ralentit? elle transforme la nature du sol en lui apportant, sous forme de limon, une certaine couche d'humus que les Italiens, dans leur langage imagé, appellent la *fleur de la terre*.

Il est établi aujourd'hui par les nombreuses et délicates expériences auxquelles M. Hervé Mangon, membre de l'Institut, ingénieur en chef des ponts et chaussées, s'est livré sur les irrigations du Nord et du Midi :

Que l'azote, combiné aux eaux d'irrigation, intervient au profit du sol et se fixe dans les récoltes; mais que la quantité d'azote ainsi emprunté n'atteint qu'une partie du poids de l'azote que ces eaux renferment; ce qui semblerait prouver que les plantes ne puisent plus rien aux eaux d'arrosage, dès que la proportion d'azote qui leur reste descend au-dessous d'un chiffre déterminé;

Que l'acide carbonique est en moins grande quantité dans les eaux d'irrigation que dans les eaux de colature;

Et que l'oxygène, au contraire, se montre plus abondant à l'entrée des eaux qu'à leur sortie. C'est la confirmation de la théorie de M. Chevreul que les eaux d'irrigation déterminent dans le sol des phénomènes de combustion lente semblables à ceux que produit le drainage.

Des résultats des expériences de ce savant ingénieur, on serait porté à conclure que les eaux les meilleures pour l'irrigation sont celles qui contiennent le plus d'azote et d'oxygène et le moins d'acide carbonique.

Mais la composition chimique ne donne pas la mesure exacte de la qualité des eaux d'irrigation. Leur degré de richesse est déterminé par la

plus ou moins grande facilité avec laquelle elles abandonnent aux cultures les substances fertilisantes qu'elles tiennent en dissolution et en suspension.

C'est ainsi que, dans le département de Vaucluse, les eaux limoneuses de la Durance sont plus appréciées que les eaux claires de la Sorgue, qui sont cependant aussi riches en azote. Il doit en être ainsi, car les eaux de la Durance abandonnent jusqu'à 36 p. o/o de leur poids d'azote aux prairies artificielles qu'elles arrosent, tandis que les eaux de le Sorgue n'en abandonnent que 13 p. o/o.

Dans les irrigations à petits volumes d'eau des pays chauds, l'azote fourni par les eaux d'irrigation n'est qu'une faible partie de l'azote représenté par les récoltes. Ces eaux ne jouent donc qu'un rôle secondaire à titre d'engrais. Le déficit doit être comblé par des fumiers.

Dans les irrigations à grands volumes d'eau des pays froids, l'azote contenu dans les récoltes n'est que la moitié à peine de celui qui est fourni par les eaux d'arrosage. De telle sorte que ces eaux constituent de véritables engrais et qu'il n'est pas besoin d'employer de fumier.

On pourrait en déduire que le volume d'eau consacré aux irrigations du Nord, qui s'élève jusqu'à 50 litres par seconde et par hectare, serait trop considérable, et que le volume d'eau consacré aux irrigations du Midi, qui ne dépasse pas un litre par seconde et par hectare, serait beaucoup trop faible.

Mais il convient de faire observer que, dans le Midi, où sans eau on ne récolte rien, il y a tout avantage à répartir sur la plus grande surface possible les eaux dont on a le droit de disposer, tandis que, dans le Nord, il y a intérêt à les concentrer sur une surface restreinte afin d'économiser les engrais.

Dans le Midi, l'eau est une nécessité; dans le Nord, elle n'est qu'un perfectionnement.

Les eaux d'irrigation, envisagées au point de vue physique, interviennent à titre de régulateur de la température du sol et d'agent essentiel des phénomènes journaliers d'évaporation et d'absorption qui se passent dans les plantes ; et au point de vue chimique, comme un engrais qui, selon la nature du sol et du climat, peut représenter tantôt une partie, tantôt la totalité des matières fertilisantes exigées par les cultures.

Le rôle des eaux d'irrigation est d'ailleurs trop complexe pour qu'on puisse essayer de modifier, par la théorie, des habitudes locales qui ont pour elles la consécration de la pratique. *Expérience vaut mieux que science* est un adage contre lequel il serait tout au moins imprudent de réagir en agriculture. S'il est hors de doute que l'analyse d'une eau destinée aux arrosages soit un élément précieux, éminemment propre à guider l'agriculteur, puisqu'elle indique son degré de richesse en principes fertilisants, il est également incontestable que le titre de fertilité d'une eau d'irrigation se mesure surtout aux résultats qu'elle produit.

Toutes les eaux de nos fleuves et rivières sont bonnes pour l'irrigation; mais il en est peu qui soient utilisées. On les connaît beaucoup plus dans nos campagnes par les désastres qu'elles causent que par les bienfaits qu'elles procurent.

Aussi peut-on avancer, sans conteste, qu'un champ presque indéfini est ouvert en France aux entreprises de canaux d'irrigation.

À l'exception de la Durance, dont les eaux sont réparties entre le grand canal de Marseille et 18 canaux d'irrigation, parmi lesquels les plus importants sont ceux de Carpentras, de Cavaillon, de Saint-Julien, de Crillon, de Cadenet, de Crapponne, des Alpines et de Châteaurenard, nos fleuves et nos rivières ne fournissent presque rien à l'agriculture. Le Rhône coule inutile à travers les plaines desséchées du Midi, ruinées par la garance artificielle et dévastées par le phylloxera, en attendant que le grand canal Dumont, le prolongement du canal de Pierrelatte et le canal de Roquemaure soient exécutés. La Seine, la Loire, la Garonne et leurs affluents, ainsi que les affluents du Rhin qui nous restent, sont à peu près dans les mêmes conditions.

On évalue à 180 milliards de mètres cubes par an, en dehors des crues, le volume total des eaux versées à la mer par tous nos fleuves grands et petits. Or, chaque centaine de mille mètres cubes d'eau employée à l'irrigation représente l'équivalent d'un bœuf de boucherie; c'est donc 1,800,000 têtes de gros bétail qui vont se perdre, chaque année, dans la mer sans profit pour personne. Si l'on rapproche de ces chiffres le compte rendu des Douanes qui établit que le déficit de notre production sur la consommation est, en moyenne depuis dix ans, de 160 millions de francs pour le gros bétail seulement et de 110 millions pour les autres viandes et les céréales, on arrive à cette conclusion que toute entreprise de canal d'irrigation est une œuvre d'intérêt général au premier chef, puisqu'elle a pour objet d'augmenter la fortune publique, en utilisant des richesses perdues.

Le Gouvernement, malgré les charges énormes de son budget, se fait un devoir d'encourager ces entreprises, en leur accordant, sur les fonds du Trésor, des subventions qui atteignent généralement le tiers des dépenses prévues de premier établissement de ces canaux.

On est donc en droit de s'étonner que l'initiative individuelle ne dirige pas plus particulièrement ses efforts vers les concessions de canaux d'irrigation.

Quelles peuvent être les causes qui arrêtent ou paralysent son action?

Notre législation serait-elle insuffisante? À en croire des théoriciens qui se posent en réformateurs, l'irrigation en grand ne parviendra à sortir du cercle d'entraves qui l'emprisonne qu'après la refonte complète des lois qui la régissent. Ce qu'il y a de vrai dans la pratique, c'est que la loi du 3 mai 1841 sur l'expropriation, les lois des 29 avril 1845 et 11 juillet 1847 sur les irrigations, et la loi du 21 juin 1865 sur les associations syn-

dicales, qui les complète, suffisent pour vaincre toutes les résistances et sauvegarder tous les intérêts.

L'État mettrait-il à son concours financier des conditions qui le rendraient inacceptable, parce qu'elles seraient trop onéreuses? En dehors des prescriptions générales imposées à toutes les grandes entreprises de travaux publics subventionnées sur les fonds du Trésor, il n'en est qu'une seule qui concerne plus spécialement les canaux d'irrigation : c'est la condition de produire, au préalable, des souscriptions à l'arrosage jusqu'à concurrence des 2/5 environ de la dotation légale du canal. À quelque point de vue qu'on l'envisage, cette condition ne peut être considérée que comme un avertissement salutaire qui permet au demandeur en concession, particulier ou compagnie, aussi bien qu'à l'État, de s'assurer, avant la déclaration d'utilité publique des travaux, de l'intérêt réel qu'attachent à l'exécution de l'entreprise les propriétaires des terrains compris dans le périmètre arrosable et de se rendre compte du produit probable de son exploitation.

Les canaux d'irrigation éloigneraient-ils les capitaux de placement? Comment pourrait-il en être ainsi en présence d'un revenu garanti par des redevances qui sont hypothéquées sur la terre et qui jouissent du privilège d'être recouvrées comme en matière de contributions directes?

S'il est vrai que certaines entreprises, mal conçues, mal dirigées, grevées d'apports qui les ruinaient d'avance, ont sombré avant l'achèvement des travaux, ont été mises sous séquestre et n'en sont sorties le plus souvent que pour être vendues à vil prix, s'ensuit-il qu'on doive condamner en masse les canaux d'irrigation?

Des résultats aussi regrettables portent avec eux leur enseignement. Ce n'est pas le lieu de remonter aux causes pour en déduire les effets inévitables, mais bien de rechercher et d'établir ce que doit être la concession d'un canal d'irrigation pendant la période de construction et pendant la période d'exploitation, pour que le succès en soit assuré au point de vue de tous les intérêts.

Ce sera l'objet de la seconde partie de cette conférence.

DEUXIÈME PARTIE.

En quoi consiste un canal d'irrigation et quels sont les droits et obligations du concessionnaire?

Un canal d'irrigation peut être assimilé à la distribution d'eau d'une ville, avec cette différence que les tuyaux de conduites sont remplacés par des canaux à ciel ouvert et que la zone à desservir, au lieu d'être restreinte à l'enceinte d'une ville et de ses faubourgs, embrasse un périmètre de plusieurs milliers d'hectares. La rivière dont on dérive les eaux pour l'ali-

mentation du canal est le réservoir; le canal principal est l'artère maîtresse de distribution; les canaux secondaires et tertiaires sont les diverses branches du réseau de distribution; les prises d'eau particulières sont les branchements des abonnés.

Les eaux d'un canal d'irrigation sont employées, comme eaux périodiques, à l'irrigation et, comme eaux continues, aux usages domestiques et d'agrément, à l'alimentation publique des communes et à la mise en jeu des usines établies sur leur cours.

Le concessionnaire prend à sa charge l'exécution de tous les canaux, canal principal, canaux secondaires et tertiaires, et de tous les ouvrages qui en dépendent. Il est tenu d'amener, à ses frais, l'eau en tête de la propriété de chaque usager, de telle sorte que les propriétaires n'ont d'autres travaux à exécuter et à entretenir que leurs vannes ou martellières de prise d'eau et leurs rigoles d'arrosage.

Pour indemniser le concessionnaire de ses dépenses, il lui est accordé, outre la subvention de l'État, l'autorisation de percevoir, pendant toute la durée de la concession, qui est en général de quatre-vingt-dix-neuf ans, des redevances annuelles qui sont recouvrées comme en matière de contributions directes, et qui sont fixées : à raison de 40 à 60 francs par litre par seconde ou par hectare, pour l'irrigation, à raison de 80 à 100 francs par décilitre par seconde, pour les usages domestiques et d'agrément et l'alimentation publique des communes, et à raison de 200 francs par force de cheval de 100 kilogrammètres pour l'alimentation des forces motrices.

Ceci expliqué, je reviens aux principes à appliquer aux concessions de canaux d'irrigation.

Au lieu de rester dans des généralités auxquelles on pourrait reprocher l'absence de sanction pratique, je prendrai pour type le canal d'irrigation de la Bourne, dans le département de la Drôme.

Je ferai en peu de mots l'historique du canal de la Bourne. Vous verrez, Messieurs, que c'est un des plus beaux exemples des efforts persévérants de l'initiative individuelle poursuivant, au lendemain de nos désastres, la réalisation d'une entreprise de 10 millions, sans autre mobile que les intérêts généraux du pays.

Le canal dérivé de la Bourne est destiné à arroser la plaine de Valence, qui présente une superficie de 22,000 hectares. Cette plaine, dont le sol est formé d'alluvions, est susceptible d'une très riche culture. Mais elle manque d'eau pour ainsi dire complètement, et les récoltes y sont tout au moins compromises, quand elles ne sont pas détruites, par une sécheresse de plusieurs mois consécutifs.

Aussi pendant plus d'un siècle a-t-on cherché les moyens d'amener les eaux sur ce vaste périmètre.

Les premières études datent de 1811. Elles ont été faites par l'ingénieur en chef Lesage, sur l'invitation expresse de M. de Montalivet, alors ministre de l'intérieur, que le département de la Drôme s'honore de compter parmi ses plus illustres enfants. Elles ont eu pour résultat de faire reconnaître que de tous les cours d'eau qui coulent au nord de Valence la Bourne, affluent de l'Isère, était le seul qui pût fournir à l'étiage un débit de 7 mètres cubes d'eau par seconde, en rapport avec l'étendue de la plaine à irriguer, et que la prise d'eau devait être établie près de Pont-en-Royans, à plus de 40 kilomètres de Valence, avec relèvement du niveau de la rivière par un barrage, afin d'obtenir une altitude suffisante.

Les études continuées depuis n'ont fait que confirmer les données de Lesage.

C'était de remonter jusqu'à la chaîne de montagnes qui forme la dernière ondulation des Alpes.

Aussi la construction du canal principal, dont le développement total est de 50 kilomètres, a-t-elle présenté, sur les 2/5 de sa longueur, de très grandes difficultés. En dehors du barrage de retenue, dont la hauteur atteint jusqu'à 21 mètres au-dessus du rocher de fondation, on rencontre, sur les 20 premiers kilomètres, 4 kilomètres de tunnel, un demi-kilomètre de ponts-aqueducs de 17 à 37 mètres mètres d'élévation, et 5 kilomètres de tranchées de 8 à 12 mètres de profondeur.

Quand on parcourt pour la première fois ces 20 kilomètres, en suivant le tracé du canal tel qu'il est exécuté aujourd'hui, quand on voit ce sol bouleversé par les révolutions du globe, ces rochers abrupts dont le sommet se perd dans les nuages, ces ravins profonds qui se succèdent à des distances très rapprochées et qui forment autant de précipices, on est saisi de vertige; on s'étonne d'une idée aussi hardie et l'on s'incline avec admiration devant le génie qui l'a conçue et dont l'énergique volonté est venue affirmer, soixante ans auparavant, la réalisation pratique d'une entreprise qui semble défier Dieu!

Un avant-projet complet fut rédigé, en 1860, par les ingénieurs du département, MM. de Montrond et de-Montgolfier; c'était de tout point l'exécution du programme tracé par Lesage.

M. Bérenger de la Drôme, ancien pair de France, membre de l'Institut, que l'application du décret de 1852 sur la limite d'âge venait d'atteindre comme président de la Cour de cassation et de ramener dans son pays de naissance, dont il était l'orgueil, consacra les dernières années de sa vie au succès de cette entreprise, qui paraissait condamnée d'avance à subir le contre-coup de toutes nos révolutions politiques.

La mort le surprit avant que son œuvre fût achevée.

Son fils, qui porte si dignement le nom illustré par son père et qui, après avoir brillé comme lui dans la magistrature, continue, dans la vie po-

litique, les traditions libérales dont il lui a légué l'exemple, a repris comme un héritage cette œuvre inachevée, et, pour la mener à bonne fin, y a mis tout son cœur.

Groupant autour de lui ses collègues de la Drôme à l'Assemblée nationale, MM. Clerc, Malens et le général Chareton, dont la mort récente a été un deuil pour l'armée et une grande perte pour le Sénat, il signa, avec eux, une demande à l'effet d'obtenir la concession du canal de la Bourne suivant le projet de 1860, tant en leur nom personnel qu'au nom d'une société locale en voie de formation.

A cette demande étaient joints, outre des projets de convention et de cahier des charges, les statuts de la société à constituer pour la construction du canal et la justification de souscriptions à l'arrosage pour 3,000 litres par seconde, soit les 3/7 de la dotation légale du canal.

En attendant la décision à intervenir, on procéda aux études définitives du canal principal et on dressa les projets d'exécution.

L'état estimatif fit ressortir les dépenses de premier établissement de ce canal à la somme de 4,900,000 francs, dont :

Études et travaux	3,000,000 francs
Indemnités de terrains	1,000,000
Étanchements	400,000
Frais généraux et somme à valoir pour imprévu	500,000
Total égal	4,900,000

Et, sur le vu de ces projets définitifs, M. Watel, dont l'expérience, la capacité et la puissance financière ont été pour la compagnie un auxiliaire précieux, s'engagea à exécuter à forfait les travaux proprement dits du canal principal moyennant le prix prévu de 3 millions.

M. Watel a justifié une fois de plus, dans l'exécution de ces travaux, la réputation qu'il s'est acquise comme entrepreneur de travaux publics. M. Gustave de la Vallée-Poussin, l'habile ingénieur à la capacité duquel il a fait appel, a construit toutes les vannes, vannes de prise d'eau, vannes de décharge, martellières de répartition, suivant des types dont les ingénieuses dispositions méritent de fixer l'attention des ingénieurs qui s'occupent de canaux d'irrigation.

Le décret de concession fut rendu en 1873; mais on trouva qu'un décret n'était pas suffisant et qu'une loi était nécessaire. Ce n'est que treize mois après, le 21 mai 1874, que cette loi est enfin intervenue.

MM. les députés de la Drôme, qui avaient atteint le but que leur initiative désintéressée poursuivait depuis plus de trois ans, s'étaient effacés comme demandeurs en concession, et le Gouvernement a concédé directement, pour quatre-vingt-dix-neuf ans, avec une subvention de

2,900,000 francs, le canal de la Bourne à la société locale qui s'était formée sous leurs auspices.

La compagnie concessionnaire s'est constituée en société anonyme, suivant la loi du 24 juillet 1867, au capital de 2 millions, qui représentent, avec la subvention de l'État (2,900,000 francs), la dépense prévue de premier établissement du canal principal (4,900,000 francs). Toutes les actions ont été souscrites, et le montant en a été intégralement versé. Pour faire face à la dépense de construction des six canaux secondaires et de leurs canaux tertiaires, dont l'ensemble forme le réseau de distribution des eaux sur la plaine, la compagnie a émis des obligations qui trouveront leur garantie dans les redevances souscrites.

Si l'on considère les situations respectives de la compagnie qui vend son eau et de l'usager qui l'achète, on est amené à reconnaître que les deux parties sont vis-à-vis l'une de l'autre dans un état de mutuelle dépendance qui exige leur accord commun.

Pour que cet accord nécessaire existe, se maintienne, se consolide dans la pratique, il faut que la compagnie concessionnaire soit une société locale et non une compagnie étrangère au pays, qu'on est toujours disposé à regarder et à traiter comme un groupe de spéculateurs. Ce n'est pas trop de l'autorité d'un conseil d'administration dont les membres appartiennent exclusivement à la contrée que dessert le canal, sont connus et estimés des propriétaires et des fermiers, se montrent bienveillants pour tous, respectueux des droits de chacun et d'autant plus soucieux de remplir leur mandat qu'ils ne l'ont accepté que par dévouement; il faut encore que les usagers aient le même intérêt que la compagnie concessionnaire, et le moyen le plus rationnel et le plus sûr pour qu'il en soit ainsi, c'est que les usagers participent aux bénéfices de la compagnie.

Or la compagnie est représentée par un conseil d'administration dont les membres sont nommés par l'assemblée générale des actionnaires.

Les usagers doivent donc être groupés de même en société et avoir des délégués de leur choix pour les représenter.

Mais comme les intérêts des usagers sont essentiellement distincts et séparés par canal secondaire, il en résulte qu'il doit y avoir autant de sociétés différentes d'usagers qu'il y a de canaux secondaires.

De là la nécessité des associations syndicales par canal secondaire.

À cet effet, chaque souscripteur aux eaux périodiques et aux eaux continues, en signant sa police d'abonnement, est tenu de prendre l'engagement de faire partie d'une association syndicale avec tous les usagers desservis par le même canal secondaire et d'adhérer aux statuts de cette association, rédigés suivant le type adopté par l'administration supérieure pour les irrigations collectives.

Chacune de ces associations partielles, comme toutes celles qui sont

soumises à la loi primordiale de l'unanimité, a deux phases bien distinctes et également obligatoires à traverser.

Dans la première, elle est à l'état d'association syndicale libre. Elle y reste pendant la préparation des projets définitifs du canal secondaire et pendant leur exécution. C'est une période transitoire, dont la durée est limitée à l'achèvement et à la mise en eau du canal secondaire.

Dans la seconde, elle est à l'état d'association syndicale autorisée. C'est la période d'exploitation du canal secondaire. Elle a, vis-à-vis de la compagnie, toute la durée de la concession.

J'examinerai successivement chacune de ces deux phases.

Dans l'une et dans l'autre, l'intérêt de l'association syndicale reste toujours intimement lié à celui de la compagnie concessionnaire.

L'association libre se forme en dehors de toute intervention administrative, par la simple adhésion donnée aux statuts.

Elle a pour objet d'obtenir que les canaux destinés à desservir son périmètre soient établis dans des conditions qui permettent de donner la satisfaction la plus complète aux intérêts généraux des usagers.

Il importe, dès lors, que l'association libre se constitue le plus tôt possible, en procédant à l'élection de ses syndics, afin que les syndics, qui sont les représentants légaux de l'association, puissent :

D'une part, donner leur avis motivé sur les projets présentés par la compagnie concessionnaire et arriver à un accord qui est dans l'intérêt commun;

D'autre part, veiller avec elle à ce que l'exécution des travaux par l'entrepreneur soit conforme aux dispositions approuvées;

Et, d'autre part, enfin, prêter leur concours aux agents de la compagnie, à l'effet de recueillir, s'il y a lieu, le complément de souscriptions nécessaire pour que le montant total des redevances, capitalisé à 6 p. o/o, atteigne au moins le chiffre de la dépense de premier établissement des canaux compris dans le périmètre de l'association, suivant le devis arrêté par l'administration supérieure. A défaut de redevances suffisantes pour couvrir l'intérêt à 6 p. o/o de cette dépense, le cahier des charges de la concession autorise, en effet, la compagnie concessionnaire à surseoir à l'exécution de ces canaux.

Dès que le canal secondaire est achevé et mis en eau, l'association libre disparaît pour faire place à l'association autorisée.

La conversion de l'association syndicale libre en association autorisée a lieu par simple arrêté préfectoral. Il n'est besoin ni d'enquête, ni de procès-verbal d'assemblée générale constatant que les conditions de majorité prévues par l'article 12 de la loi du 21 juin 1865 ont été remplies. L'unanimité résulte de l'engagement que chaque souscripteur a pris en signant sa police d'abonnement.

L'arrêté de conversion respectera les statuts de l'association libre, tels qu'ils ont été arrêtés dans l'assemblée générale constitutive du syndicat, en tant, toutefois, qu'ils ne contiennent aucune disposition qui soit contraire à la loi du 21 juin 1865 ou à l'intérêt général. S'il est vrai que l'autorité préfectorale, qui a dû rester et qui est restée étrangère à la formation de l'association libre, ait le droit d'intervenir dans les actes d'un syndicat par cela même qu'il est autorisé, il est également vrai qu'elle ne peut le faire que sous le rapport du contrôle à exercer au point de vue de l'intérêt général et sous le rapport des mesures à prescrire, en vertu des pouvoirs de police qui lui sont conférés par la loi des 12-20 août 1790, et qu'elle doit s'abstenir d'introduire dans les statuts des modifications qui auraient pour effet d'apporter à la liberté d'action du syndicat la moindre entrave qui ne serait pas commandée par le respect de la loi ou par l'intérêt public.

Le but de l'association syndicale autorisée est de se substituer à la compagnie concessionnaire pour l'exploitation des canaux exécutés dans les limites de son périmètre.

Elle peut se substituer à la compagnie pour l'exercice de tous ses droits sur ces canaux en lui laissant toutes les charges.

C'est la première période de l'association autorisée.

Par le fait de cette substitution restreinte, le syndicat demeure chargé de la répartition des eaux entre les usagers, de la police des canaux et de leur entretien, tandis que les dépenses annuelles restent à la charge exclusive de la compagnie concessionnaire. Pour couvrir le syndicat de ses avances, la compagnie lui abandonne toutes les redevances souscrites et devenues exigibles depuis la mise en eau des canaux exécutés. Le syndicat tient de l'article 18 de la loi du 21 juin 1865 les mêmes droits que la compagnie de son cahier des charges, pour faire recouvrer ces redevances comme en matière de contributions directes. Et le receveur de l'association, après avoir prélevé sur ses encaissements les frais de perception et toutes les dépenses afférentes au périmètre, y compris les frais d'administration syndicale, remet le surplus à la compagnie concessionnaire.

Comment est déterminé le montant annuel de ces frais et dépenses?

Il est à désirer que la compagnie s'entende avec le syndicat sur le nombre et le salaire des gardes, sur le devis d'entretien des canaux, sur les frais d'administration et de perception syndicales, plutôt que de faire régler par des arbitres ceux des éléments de dépense sur lesquels l'accord ne se serait pas établi. Mais que le budget annuel ait été arrêté à l'amiable ou par voie d'arbitrage, il n'en résulte pas moins de cette situation du syndicat qui administre, entretient et exploite, et de la compagnie concessionnaire qui paye les frais d'administration, d'entretien et d'exploitation, que l'association se trouve sous la dépendance de la compagnie et sous le con-

trôle de ses agents. La compagnie, en effet, qui alloue au syndicat les crédits nécessaires, ne saurait se désintéresser de la surveillance de l'emploi de ces crédits dans les conditions prévues.

Que si l'association veut s'affranchir de la dépendance de la compagnie concessionnaire et de l'ingérence de ses agents et obtenir ainsi son autonomie, il faut alors qu'elle se substitue à la compagnie non seulement pour l'exercice de tous ses droits, mais encore pour l'accomplissement de toutes ses obligations.

C'est la deuxième période de l'association autorisée, la période de participation aux bénéfices de la compagnie.

L'association se trouve en fait substituée, vis-à-vis de l'État, à la compagnie concessionnaire, sur tout le réseau de canaux de distribution dans l'étendue de son périmètre.

Le syndicat administre, entretient et exploite les canaux exécutés, et il exécute ceux qui deviendraient nécessaires pour l'usage de nouveaux souscripteurs. Il a de plus à sa charge toutes les dépenses annuelles. Par contre, il entre en possession de tous les produits ainsi que de tout le volume d'eau qui a été attribué, par décision ministérielle, au périmètre de l'association. La compagnie concessionnaire lui abandonne toutes les redevances présentes et futures à percevoir dans l'étendue de ce périmètre. Mais elle ne le fait et ne peut le faire évidemment que moyennant le payement d'une soulte qui corresponde à une partie du bénéfice qu'elle aliène.

Supposons que la dotation légale du périmètre de l'association soit de 2,000 litres par seconde, et que les redevances souscrites ne soient que de 800 litres; la compagnie pourra faire bénéficier l'association de la moitié, par exemple, de la différence de 1,200 litres, en ne lui demandant qu'une soulte calculée sur 1,400 litres de redevances.

Cette soulte peut être une annuité à payer pendant tout le temps restant à courir jusqu'à l'expiration de la concession, ou le capital une fois donné représentant cette annuité. Capital ou annuité, la soulte est fixée à forfait, et le montant en est réglé de gré à gré. L'entente sera d'autant plus facile avec le syndicat que la compagnie se bornera à ne lui demander que la part correspondante dans la libération de ses charges.

En résumé :

Compagnie concessionnaire, compagnie locale;

Compagnie locale constituée en société anonyme, suivant la loi du 24 juillet 1867;

Capital-actions assez élevé pour que, réuni à la subvention de l'État, il permette de faire face tout au moins à la dépense prévue de premier établissement du canal principal, garantie, dans ce qu'elle peut avoir d'aléatoire, par un marché à forfait;

Émission d'obligations pour la construction du réseau de distribution, sous la condition que l'intérêt et l'amortissement des obligations émises trouveront leur garantie dans les redevances souscrites;

Associations syndicales partielles par canal secondaire;

Accord de la compagnie concessionnaire et des associations syndicales par la communauté même de leurs intérêts et par une participation commune aux bénéfices de l'entreprise :

Tels sont les principes qui ont été appliqués pour la première fois au canal de la Bourne et qui me paraissent devoir, à l'avenir, servir de règle à toutes les concessions de canaux d'irrigation.

M. Barral, *président*. Je remercie M. de Passy de l'intéressante conférence qu'il vient de faire sur la principale des questions qui intéressent aujourd'hui l'agriculture. Cette conférence sera suivie d'une communication que M. Charles Cotard fera prochainement. Il se proposait de faire une communication sur l'aménagement des eaux en général; mais une erreur ayant été commise et les travaux du congrès du Génie civil prenant fin dès demain, M. Cotard a dû remettre sa conférence à un autre jour. Il la fera vendredi prochain, 16 août, à 8 heures et demie du soir, 10, cité Rougemont. J'ai l'honneur d'inviter toutes les personnes qui s'intéressent à la question d'aménagement des eaux, aux divers points de vue de l'agriculture, de la navigation, de l'industrie et du régime des cours d'eau, à venir écouter M. Cotard. En comparant ce qui se fait actuellement chez nous à ce qui se pratique dans d'autres pays depuis de longs siècles, il fera ressortir la nécessité d'aborder résolument le problème de l'aménagement des eaux et d'en rechercher la solution pratique. On voudra certainement entendre M. Cotard.

Je vous remercie, Messieurs, de l'attention que vous avez bien voulu prêter à M. de Passy, qui, dans son improvisation, a traité avec une très grande autorité les questions les plus hautes et les plus ardues de la science agricole, et qui a su vous faire comprendre combien elles intéressent la prospérité de notre pays. (Très bien! très bien! Applaudissements.)

La séance est levée à 4 heures.

PALAIS DU TROCADÉRO. — 9 JUILLET 1878.

CONFÉRENCE

SUR

LA DESTRUCTION DU PHYLLOXERA,

PAR M. F. ROHART,

MANUFACTURIER-CHIMISTE.

BUREAU DE LA CONFÉRENCE.

Président :

M. Victor Lefranc, ancien ministre.

Assesseurs :

MM. J. Bureau, ingénieur des arts et manufactures ;
Ch. Camus, fabricant de produits chimiques ;
E. Deligny, viticulteur au château de l'Arc (Gironde) ;
E. Gassou, viticulteur à Port-Sainte-Marie (Lot-et-Garonne) ;
Sornay, viticulteur, notaire, à Villié-Morgon (Rhône) ;
L. Vaquez, avocat à la cour d'appel ;
Vinay, viticulteur à Nyons (Drôme) ;

La séance est ouverte à 2 heures.

M. Victor Lefranc, *président*. Mesdames et Messieurs, en l'absence regrettable de MM. Berthelot et Pasteur, et des autres savants qui devaient apporter l'autorité de leur présence à la conférence que vous allez entendre, M. Rohart a bien voulu me prier de remplacer, tout indigne que j'en sois, ces illustrations de la science.

S'il suffit pour cela d'être un ami de la viticulture, de connaître le péril qui la menace, et d'apprécier le mérite de celui qui va vous en entretenir, je puis, à la rigueur, accepter cette mission, qui, du reste, se bornera de ma part à laisser immédiatement la parole à l'orateur.

L'attention que vous lui prêterez, le soin que vous mettrez à répandre au dehors les notions que vous aurez recueillies de sa bouche éloquente

et autorisée, seront une préparation à combattre cet ennemi terrible qui menace, non pas seulement les propriétaires de vignes, mais l'équilibre du budget de l'État; car, si la vigne produit beaucoup, elle donne beaucoup au Trésor, et c'est comme citoyens, non moins que comme agriculteurs, que nous devons écouter avec attention et sympathie la leçon qui va nous être donnée sur la manière de lutter contre cet ennemi et de le vaincre. (Applaudissements.) La parole est à M. Rohart.

M. Rohart. Mesdames, Messieurs, je viens vous entretenir d'une question qui est sans contredit une des plus graves du moment. Trente-quatre de nos départements sont envahis par le phylloxera, et 600,000 hectares sont ou perdus ou en péril. Partout les ruines s'accumulent, et la désolation est générale dans le camp des laborieux de la viticulture.

Le Gouvernement, justement préoccupé de cette situation, a sollicité toutes les initiatives, et je m'honore d'avoir été un des premiers à répondre à son appel. N'ayant pas l'honneur d'être connu de toutes les personnes qui composent ce nombreux auditoire, je demande la permission d'ajouter que, si je me présente devant vous, c'est après avoir étudié et pratiqué la question pendant cinq ans; que la Société des agriculteurs de France, qui représente, vous le savez, une grande partie des intérêts viticoles et agricoles français, a bien voulu, peut-être y a-t-elle mis quelque indulgence, classer mes travaux au premier rang et leur accorder, dès l'année dernière, une modeste couronne. Si je vous cite ces faits, ce n'est pas en vue d'une vaine satisfaction d'amour-propre, mais afin d'établir tout d'abord que je ne suis pas sans compétence ni qualité pour traiter le sujet dont je vais avoir l'honneur de vous entretenir.

Je m'en tiendrai exclusivement à ce côté spécial de «la destruction de l'insecte», conformément au programme tracé, dès la première heure, par le Gouvernement.

Je me garderai bien d'apporter ici des théories personnelles, des idées préconçues ou des thèses d'école; je resterai scrupuleusement sur le terrain des faits, des chiffres, des résultats pratiques et économiques dûment constatés. J'ajoute que dans cette conférence, et pour répondre à la pensée qui a été si bien formulée par les organisateurs de notre merveilleuse Exposition universelle, je n'aurai d'autre but que de «mettre en lumière les enseignements industriels et économiques que comporte l'exposition des produits réunis au Champ de Mars».

J'ai l'honneur de figurer dans ce moderne champ clos de la paix et du travail, d'y être un petit atome perdu dans cette immensité; mais il ne s'agit ici ni de ma personne ni d'aucune autre individualité, mais uni-

quement de certitudes acquises permettant d'éclairer sérieusement la question et de la faire avancer utilement.

A l'origine de l'invasion phylloxérique, c'était comme au commencement de toute idée et de toute chose : la confusion et le chaos; en d'autres termes, l'infini dans l'indéfini. Heureusement cet état n'était que provisoire, et nous allons enfin en sortir, mais il fallait chercher et trouver, selon le mot éternellement vrai de l'Évangile, écrit en lettres ineffaçables sur chacune des merveilles que nous admirons autour de cette enceinte.

Quoi qu'il en soit, grâce au concours de la science, qui ne fait jamais défaut quand il est nécessaire, la lumière s'est faite, et l'on a pu entrer d'une manière plus efficace et plus sûre dans la voie des applications utiles. Mais pour bien constater l'état actuel des choses, je dois ajouter que si la dévastation de nos vignes est véritablement une calamité, un malheur public, il y en a un autre qui va de pair avec le premier, c'est l'ignorance, beaucoup trop générale, de chacun, je dirai même, des intéressés, au sujet de l'état réel de la question. On ne sait pas assez à quel point elle en est à l'heure où je vous parle, et l'objet de cette conférence est précisément de dissiper les doutes en dégageant les incertitudes et les inconnus.

La situation est certainement des plus déplorables, quand on considère qu'il a suffi d'un puceron pour envahir et dévaster une partie notable de la France et mettre en péril une des sources de la richesse nationale. Ce qui n'est pas moins navrant, c'est de penser que le gros de l'armée des viticulteurs a dû rester l'arme au pied. Mais entendons-nous bien! la bonne volonté ne lui manquait pas, ni le cœur, ni les bonnes résolutions; seulement les moyens d'action lui faisaient défaut. Son instruction scientifique et professionnelle, insuffisamment développée, n'a pu lui permettre de se rendre un compte exact de la valeur des moyens à mettre en œuvre afin de combattre l'ennemi. Il faut bien que je constate ce fait, car il a une importance tout à fait capitale au point de vue de demain. Aujourd'hui que tout ce qui touche à l'instruction générale a été mis si patriotiquement à l'ordre du jour, il y a là une douloureuse leçon et un grand enseignement qui ne doivent pas être perdus pour l'avenir. La lumière n'est ici-bas que de l'expérience accumulée, et on ne fait la lumière qu'en mettant bien à profit tous les enseignements que la vie comporte.

Dès les premiers jours de l'invasion, on a pu admirer avec quel empressement les représentants les plus considérables de la science sont accourus au secours de la viticulture, et c'est pour tout homme qui pense un devoir de respectueuse justice de rappeler que nous avons trouvé là, au premier rang, ce que j'appellerai la légion glorieuse des volontaires en cheveux blancs.

Parmi les moyens employés pour combattre le meurtrier de la vigne,

hormis la submersion, qui ne constitue malheureusement qu'un moyen encore trop limité, mais qui a été pratiqué avec un succès incontestable, notamment par M. Faucon, *un seul produit* a véritablement réussi, c'est le sulfure de carbone; il a donné des résultats sérieux et absolument certains, en ce qui touche la destruction de l'insecte et surtout au point de vue de la reconstitution des vignobles. Je suis donc heureux de vous apporter la bonne nouvelle que le chef-d'œuvre de notre grand-père Noé ne périra pas.

Pour procéder avec méthode et être sûr de ne rien omettre d'essentiel, je divise mon sujet en cinq parties : 1° idée générale; 2° moyens; 3° applications; 4° résultats; 5° objections et économie de la question.

Le programme est vaste et complexe, il faut bien le reconnaître; mais je tiens à être complet, et je ne reculerai pas devant les difficultés de la tâche, parce que j'ai horreur de tous les à peu près et que d'ailleurs les témoignages et les preuves que j'apporte me paraissent de nature à faire avancer la question dans le sens le plus favorable aux intérêts généraux de notre pays. Permettez-moi donc d'espérer, Messieurs, que vous voudrez bien comprendre que la partie technique doit nécessairement occuper ici la plus large place. Par conséquent je devrai passer sous silence les prophéties non justifiées qui nous prédisent l'impossibilité. On ne discute pas des articles de foi quand ils ne sont, comme ici, au fond et en fait, que de simples opinions dont la démonstration reste à faire. Et puis enfin, on ne tue pas le phylloxera avec des opinions. De même je m'abstiendrai de parler des cépages maudits qui sont la cause originelle de nos désastres viticoles et dont la culture normale irait précisément à l'encontre des vœux généraux du pays et de la pensée du Gouvernement, demandant ensemble, et avec autant de raison que de sagesse, la destruction de l'insecte.

Ainsi que je viens d'avoir l'honneur de vous le dire, un seul produit a eu une action efficace contre le dévastateur de nos vignobles : c'est le sulfure de carbone, que nous allons examiner dans un instant. Pourquoi le sulfure de carbone? La raison en est des plus gravement motivées : c'est que la plupart des autres composés, pour ne pas dire tous les autres composés qu'on peut faire agir souterrainement, sont détruits par le sol. On s'est généralement habitué à considérer la terre arable comme une chose inerte et passive : c'est là une grave erreur; elle est, au contraire, douée d'énergies étonnantes, et je suis tenu de l'établir afin de bien expliquer pourquoi la solution cherchée était si grosse de difficultés et pourquoi tant d'insuccès ont répondu aux tentatives nombreuses et fort louables assurément qui ont été faites en vue de la destruction du meurtrier.

J'ai constaté expérimentalement que la terre se comporte avec la plupart des composés les plus stables absolument comme le ferait une im-

mense pile voltaïque. Les agents chimiques qui paraissent les plus fixes sont décomposés par le sol avec une facilité surprenante : c'est ainsi que l'hydrogène sulfuré, qui tue si bien l'insecte dans le laboratoire, devient impuissant dans le sol, parce qu'il s'y décompose instantanément ; la terre le dédouble en ses deux éléments, hydrogène et soufre, et, en fin de compte, il est sans action sur le phylloxera. Si, au lieu de l'hydrogène sulfuré, on emploie l'hydrogène phosphoré, il se produit un phénomène du même genre, bien que d'un ordre différent : au lieu d'une réduction, c'est une oxydation. Si l'on fait agir des matières organiques, et notamment des produits pyrogénés, tels que les hydrocarbures, ils sont comburés, brûlés, comme si on les introduisait dans un foyer incandescent ; et quand je vous aurai dit qu'une terre arable, à la profondeur de 40 à 50 centimètres, représente plusieurs millions de kilogrammes, je vous laisserai à penser à quelles difficultés se sont heurtés les hommes de bonne volonté qui avaient pris à tâche la destruction souterraine de l'insecte par voie d'asphyxie.

Le sulfure de carbone est *le seul* produit, je le répète à dessein, qui résiste parfaitement aux actions décomposantes du sol et qui possède, en outre, des propriétés toxiques dont vous allez pouvoir juger *de visu* dans un instant.

Il est certainement appelé à un grand avenir, en rendant à la viticulture et à l'agriculture en général des services considérables. Il y a quinze ou vingt ans qu'il a été employé pour la première fois contre les insectes nuisibles par Doyère, chimiste distingué et surtout homme de cœur, à qui l'on doit la préservation des immenses approvisionnements de céréales que le Gouvernement français avait fait faire en Algérie pour l'armée et la marine. Ces grains avaient été envahis par le charançon ; Doyère les en a débarrassés précisément au moyen du produit qui nous occupe. Dès lors la preuve pratique de la puissance toxique de ce liquide contre les infiniment petits était faite. Depuis, M. Fouque, d'Oran, a eu l'idée de s'en servir contre le phylloxera ; après lui, M. Monestier à Montpellier, puis M. Paul Thénard à Bordeaux ; et, récemment enfin, la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée a préconisé, avec un dévouement et une constance des plus louables, l'emploi de ce même agent. On a également englobé le sulfure de carbone dans une enveloppe gélatineuse, que voici, comme le docteur Clertan l'a fait précédemment pour l'éther, le chloroforme, le chloral, etc. Depuis, MM. Sylvestre et Boudet, réalisant l'idée préconisée par M. de Chefdebien, ont pensé à emmagasiner le sulfure dans un petit réservoir spécial, et, à l'aide d'une mèche à laquelle on fait faire siphon, de dégager le produit à l'état de vapeur dans les couches souterraines, en mettant à profit l'action conductrice des fils de coton, par voie de capillarité. Il y a eu aussi des modes d'insufflation avec divers appareils.

Dans chacun des cas que je viens de vous indiquer, le sulfure de carbone, toujours employé à l'état naturel, a une action purement passagère; elle est trop rapide, trop immédiate, et vous comprendrez bientôt pourquoi elle a été jugée insuffisante dans ces conditions. A côté de ces différentes conceptions, il y a un perfectionnement important de l'idée première, ayant en vue le dégagement plus lent, plus méthodique et plus gradué du sulfure de carbone. C'est dans ce but que M. Dumas a eu la judicieuse pensée de faire agir ce produit préalablement engagé dans une combinaison avec un sulfure alcalin, c'est-à-dire à l'état de sulfocarbonate.

Après ces énoncés, permettez-moi, Messieurs, de rappeler qu'ayant appliqué, depuis trois ans déjà, l'emprisonnement cellulaire du sulfure de carbone dans les pores du bois, afin d'obtenir une lente évaporation de ce produit, j'ai été amené à imaginer un nouveau moyen qui consiste à retenir le toxique en l'engageant dans un réseau gélatineux, et sous l'une des formes que voilà (l'orateur montre différents prismes quadrangulaires déposés sur le bureau). Déjà, vous le voyez, la donnée première est singulièrement modifiée; nous n'aurons plus affaire à un liquide, mais à un produit solide, maniable et transportable à volonté, qui retient le sulfure avec une sûreté que vous pourrez apprécier bientôt.

Ce procédé a l'avantage, comme les sulfocarbonates, de rendre prolongée l'action souterraine du sulfure de carbone, car tous deux ont pour effet de régler l'émission des vapeurs asphyxiantes comme le fait le jeu du tiroir pour distribuer la vapeur aux machines en fonction.

L'emmagasinage du sulfure de carbone dans la gélatine, à l'état solide, constitue un fait et un résultat nouveaux, une idée originale, une véritable création; et il a mérité d'attirer l'attention d'un des hommes les plus considérables dans la science, le plus illustre, on peut le dire, des chimistes de l'Europe, le vénérable et vénéré M. Chevreul, qui a fait de ce produit l'objet d'une étude particulière, et qui en a rendu compte à l'Académie des sciences dans la séance du 10 juin dernier, comme l'avait fait précédemment M. Girard à ses élèves de l'Institut agronomique et du Conservatoire.

Avant d'entrer dans le sujet, il importe, pour procéder méthodiquement, de bien poser les principes. Voici en quels termes s'exprimait, il y a quatre ans, M. Dumas, qui a eu l'honneur de se montrer au premier rang parmi ces volontaires à cheveux blancs dont je parlais tout à l'heure : «En faisant couler du sulfure de carbone dans les trous pratiqués autour des ceps, on obtient une production *instantanée* de vapeurs toxiques trop abondantes, pouvant nuire à la vigne, et dont l'effet est trop peu durable.. Il y aurait profit à diminuer la volatilité du sulfure de carbone et à rendre son action à la fois plus longue et plus prolongée... Le problème à résoudre paraît donc être de concentrer autour des phylloxeras *un foyer*

de vapeurs asphyxiantes, dont la durée égale et dépasse le temps que met l'insecte à effectuer ses diverses métamorphoses. »

Comme cela arrive beaucoup trop souvent, on a laissé passer ce dire sans en comprendre toute la valeur et toute la portée. Mais vous allez pouvoir juger dans un moment l'étonnante perspicacité et la sûreté de coup d'œil avec lesquelles le maître a discerné, dès l'origine, les conditions du problème à résoudre ; les preuves que je vous en donnerai vous démontreront qu'en dehors des principes et des règles scientifiques on ne peut guère compter sur des résultats sérieux.

On a proposé sept ou huit cents moyens différents de détruire le phylloxera. Aujourd'hui, vous le voyez, la question s'est bien simplifiée, puisqu'il ne s'agit plus que d'un seul et unique produit, avec deux modes d'emploi, différents il est vrai; mais au fond l'idée est *une*, car tous les hommes compétents, tous les viticulteurs éclairés, impartiaux, et véritablement au courant de la question, sont d'accord pour reconnaître que le sulfure de carbone est le seul composé sur lequel ils peuvent fonder de réelles espérances, et j'en apporte ici les preuves.

Ceux qui ont tenu à employer le sulfure de carbone en nature ont imaginé des pals, instruments qui ne diffèrent les uns des autres que par certains détails de forme (l'orateur présente un de ces instruments), et qui tous gravitent autour de la même idée. Chacun d'eux porte à sa base un tuyau conducteur du liquide, que l'on fait pénétrer dans le sol en s'aidant d'une pédale sur laquelle on fait peser le poids du corps, tout en appuyant sur deux poignées qui servent de manettes. On obtient donc ainsi l'injection souterraine du produit.

Voyons d'abord, aussi rapidement que possible, ce qu'est le sulfure de carbone. C'est le liquide incolore que voici; il est très volatil, presque à l'égal de l'éther, et il entre en ébullition à 45 degrés, c'est-à-dire avec une grande facilité; la densité de sa vapeur est plus de deux fois et demie celle de l'air (2,67).

J'ai eu l'honneur de vous dire que l'action de ce composé est meurtrière pour tous les animaux à sang froid comme à sang chaud; je vais vous en donner les preuves expérimentales; mais voyez avec quelle facilité il s'enflamme (M. Rohart fait l'expérience). Un bec de gaz ne serait pas allumé aussi promptement. Voici maintenant un petit oiseau, animal à sang chaud ; nous allons déposer sur l'éponge adhérente au bouchon du bocal où il est enfermé une minime quantité de sulfure, et vous pourrez juger de l'action en quelque sorte foudroyante du produit.

Nous avons, à côté, des animaux à sang froid : des vers blancs, des courtilières, des cloportes, des carabes dorés et différents coléoptères; on va également introduire dans les éprouvettes qui les renferment une quantité infinitésimale du liquide, et vous verrez avec quelle rapidité il en aura

raison. Après la conférence, chacun pourra s'assurer de la mort complète de ces animaux, condamnés à l'avance.

La compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, qui a préconisé l'emploi du sulfure de carbone en nature, a fait connaître avec un soin scrupuleux les dangers auxquels sont exposés ceux qui font usage de ce produit.

Maintenant que nous avons vu l'idée générale et les moyens employés pour la réaliser, nous pouvons passer aux applications. Mais d'abord, pour compléter ma démonstration et vous permettre de bien juger des dangers qui peuvent résulter du maniement du sulfure de carbone en nature, on va en verser quelques gouttes dans cette outre en baudruche, dont la capacité, vous le voyez, n'est guère que de quatre à cinq litres ; il suffira d'introduire dans cette outre, non pas un corps en ignition comme une allumette ou une bougie, mais simplement une tige de fer préalablement chauffée, pour déterminer l'inflammation immédiate, et prouver que la vapeur du sulfure de carbone mélangée à l'air constitue une atmosphère explosible qui peut être extrêmement dangereuse lorsqu'il s'agit de volumes gazeux un peu considérables, et qu'il faut une grande circonspection dans l'emploi de ce produit.

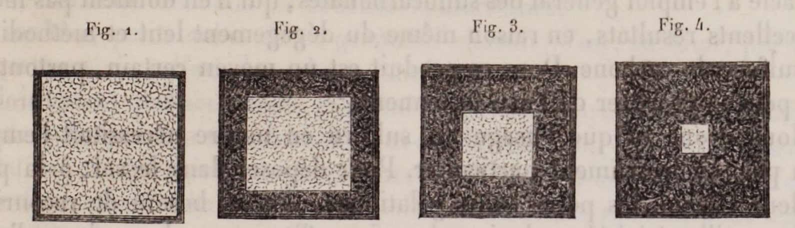
Arrivons maintenant aux applications. Lorsqu'on introduit dans le sol du sulfure de carbone en nature, et, par conséquent, à dégagement rapide, ou le même produit engagé dans une matière solide, comme la gélatine, que se passe-t-il dans les couches souterraines ?

La densité de la vapeur de sulfure de carbone étant plus considérable que celle de l'air, le produit vaporisé se répand littéralement comme le ferait une nappe liquide ; c'est donc à proprement parler une submersion gazeuse, rappelant l'acide carbonique dans la grotte du Chien, à Pouzzoles, où l'homme peut entrer impunément, tandis que le chien qui l'accompagne y trouve la mort à l'instant même.

Lorsque le sulfure de carbone est retenu physiquement dans la gélatine, voici comment il se comporte. La gélatine, qui est très hygrométrique, se ramollit au contact de l'humidité du sol, elle se gonfle, elle perd successivement sa force de cohésion, et le sulfure étant toujours sous tension, il tend sans cesse à s'échapper des petites prisons cellulaires que l'industrie lui a faites; il s'en dégage donc successivement, mais lentement, c'est-à-dire d'une façon graduée, méthodique, régulière. Pour vous en donner une idée, du moins approximative, je mets sous vos yeux un dessin qui représente la coupe transversale d'un de ces *cubes* [1] encore intact, qui ont été étudiés récemment par M. Chevreul (fig. 1). L'intérieur, la partie blanche mouchetée, contient tout son sulfure; la partie noire, qui sert d'encadre-

[1] Ce mot *cube* est évidemment impropre, mais il est consacré par l'usage, en raison des premiers cubes en bois, employés il y a quelques années.

ment, et qui est un peu amplifiée ici, n'est que l'enveloppe extérieure dont je vous reparlerai bientôt. Voici maintenant (fig. 2) la coupe de l'un de ces mêmes cubes après un mois d'enfouissement dans le sol; le cadre noir semble s'être élargi parce que le sulfure s'est en partie dégagé. Un autre de ces cubes (fig. 3) est représenté après deux mois de séjour dans la terre; vous voyez que l'évaporation du sulfure ne s'opère que successivement, en allant des extrémités au centre. Enfin la figure 4 vous fait voir ce


Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3. Fig. 4.

qu'il en est après trois mois d'enfouissement; le cube est presque complètement vide de sulfure de carbone; il pourrait l'être en moins de temps. Le délai maximum de l'évaporation complète est de quatre mois, mais la durée d'action de chacun de ces petits engins varie de soixante à cent vingt jours, suivant la nature du terrain. Ces faits, bien acquis présentement, viennent d'être constatés à la Ferme-École de la Gironde, puis, tout près de là, dans les vignes de M. Charlot, comme chez MM. Giraud frères, à Catussau, et chez M. Prax-Paris, près de Langoiran, ainsi que chez M. Gubert, à Draguignan, et chez M. Sornay, à Villié-Morgon, c'est-à-dire dans tous les centres viticoles. Il ne me paraît pas douteux que les énergies particulières du sol, que je viens de signaler il y a un instant, sont pour beaucoup dans la marche du dégagement des vapeurs toxiques. Quoi qu'il en soit, c'est seulement après que le sulfure est complètement parti que la gélatine se décompose, comme toutes les matières animales, et en fournissant à la plante l'aliment azoté dont elle a toujours besoin.

Pour amener le sulfure de carbone à cet état solide, il suffit de le débattre énergiquement avec des dissolutions gélatineuses à divers degrés de concentration. On obtient ainsi une telle division de ce produit, qu'un gramme représente plus de trois cents millions de globules, qu'un microscope puissant permet seul d'apercevoir. Ces globules sont nécessairement emprisonnés dans un inextricable réseau gélatineux dont la viscosité empêche leur séparation. C'est un résultat absolument analogue à celui qui a permis d'incorporer le mercure (insaisissable aux doigts) dans une matière grasse, et de le rendre maniable au point d'en faire des enduits et des frictions, mais avec cette différence qu'en se desséchant la gélatine devient concrète et dure; elle fait donc prise d'abord, et la masse, préalablement moulée, peut être ensuite divisée à volonté en la coupant comme si c'était du savon frais.

Lorsqu'on fait usage du sulfure de carbone en nature, on n'a pas besoin de recourir à l'eau; pas davantage quand on l'emploie solidifié comme je viens de l'expliquer, ni quand on l'insuffle à l'état de vapeur dans les couches souterraines; mais, si l'on veut se servir de l'un des sulfocarbonates alcalins, il est indispensable d'employer des quantités d'eau variant de 10 à 40 litres par cep de vigne, ce qui représente 50,000 à 200,000 kilogrammes d'eau par hectare de cinq mille ceps. C'est évidemment là un obstacle à l'emploi général des sulfocarbonates, qui n'en donnent pas moins d'excellents résultats, en raison même du dégagement lent et méthodique du sulfure de carbone. Donc ce produit est un moyen certain, partout où l'on peut se procurer de l'eau facilement.

Nous avons vu que l'usage du sulfure en nature nécessitait l'emploi d'un pal, ou instrument particulier. Pour déposer dans le sol, à la profondeur voulue, les petits cubes gélatineux, il n'est besoin de recourir à aucun outil spécial; le vulgaire plantoir suffit, ou quelque chose d'analogue. (Le conférencier s'arrête un instant pour faire remarquer que l'oiseau enfermé dans le bocal est déjà agonisant. Pour le réduire à cette extrémité, on n'a employé que quelques gouttes de sulfure de carbone. Quant aux vers blancs et aux coléoptères, ils sont complètement morts. Le sulfure de carbone peut donc être aussi utile à l'agriculture et la débarrasser non seulement du phylloxera, mais encore de tous les petits rongeurs qui causent souvent des dégâts considérables.)

L'un des inconvénients de l'emploi du sulfure de carbone en nature, c'est, je l'ai dit, la rapidité avec laquelle il s'évapore, ce qui met le viticulteur dans la nécessité de réitérer l'opération. La compagnie Paris-Lyon-Méditerranée est ainsi obligée de prescrire quatre applications successives dans la même année, et en deux traitements. C'est donc quatre fois 30 à 60 grammes de sulfure de carbone par cep. Comme on a toujours le devoir de prouver, et que j'ai promis de n'être ici que le loyal et fidèle serviteur de la vérité, voici ce qu'on lit page 13 du dernier rapport publié sur ce sujet: « Le traitement doit toujours comprendre deux injections successives à dix jours d'intervalle, » soit, en somme, quatre applications de sulfure dans la même campagne. Cette recommandation se trouve renouvelée aux pages 15 et 94 du rapport. Aujourd'hui que l'agriculture se plaint, avec tant de raison, de la rareté et de la cherté de la main-d'œuvre, il faut bien reconnaître que ces opérations réitérées sont un réel inconvénient; c'est une complication, et non une simplification. Quant aux sulfocarbonates, deux applications au plus suffisent, et elles nécessitent chacune l'emploi de 100 à 120 grammes de ces composés.

Pour ce qui est du sulfure de carbone émulsionné, on a quelquefois obtenu des résultats satisfaisants à la suite d'une seule application, en raison de sa durée, qui est la plus lente et la plus prolongée que l'on

connaisse, mais l'action est toujours d'autant plus efficace que le dépérissement de la plante est moins avancé.

En tout cas, soit qu'on se serve du pal, soit qu'on enfouisse le sulfure de carbone solidifié, il faut toujours faire trois trous en triangle, à 40 ou 50 centimètres autour des ceps, et à égale profondeur au-dessous du niveau du sol, en ayant soin ensuite de comprimer la terre au-dessus de l'endroit où le sulfure de carbone a été introduit ou déposé, afin d'emprisonner les vapeurs dans les couches souterraines.

Avec trois petits cubes de 10 grammes chacun, c'est, au total, par cep, 30 grammes de sulfure de carbone émulsionné.

Maintenant que nous avons examiné l'idée, les moyens et l'application, abordons la question des résultats, qui est de beaucoup la plus intéressante de toutes, car les ruines se succèdent, les désastres s'accumulent, et chacun est impatient d'être fixé sur le point de savoir ce que l'on peut légitimement espérer.

Avec le sulfure de carbone en nature, on a souvent tué les ceps. Ces accidents ne sont pas à craindre avec les sulfocarbonates ni avec le sulfure de carbone solidifié, puisqu'on a déjà traité par ce dernier moyen plusieurs millions de ceps, c'est-à-dire l'équivalent de 4,000 hectares au moins, dans vingt-trois ou vingt-quatre de nos départements phylloxérés, et par conséquent dans les terrains géologiques et agricoles les plus divers. Pas un seul cep n'a été tué; j'ajoute qu'avec le sulfure de carbone à dégagement lent *on ne peut pas tuer la vigne,* et je vais vous en fournir la preuve en vous citant des faits qui datent juste d'un an.

L'année dernière, le 9 juillet, je faisais agir sur des vignes de Libourne jusqu'à 136 grammes de sulfure de carbone par cep. Tous les détails ont été publiés. La température ambiante était très élevée, et néanmoins nous n'avons même pas eu la flétrissure des feuilles, ce qui témoigne évidemment de l'action de retenue de la gélatine sur le sulfure de carbone. Il est arrivé très fréquemment, au contraire, que 30 à 40 grammes de sulfure de carbone en nature, mal employés, tuaient la vigne, la brûlaient; et, comme confirmation expérimentale du fait que je viens de préciser, j'ajoute que M. Rousselier, ingénieur des mines à Marseille, a pu aller impunément jusqu'à 200 grammes par cep, au moment des chaleurs tropicales du mois d'août de l'année dernière, et les feuilles de la vigne n'ont même pas été flétries.

Donc, vous le voyez, la différence des résultats est considérable avec le même produit, selon qu'il est employé d'une façon ou de l'autre, et, par conséquent, la question des voies et moyens a, au fond, une importance tout à fait capitale.

De l'énoncé qui précède il ressort nettement que l'emploi du sulfure de carbone n'est nullement une question de température, comme on l'a

affirmé avec trop de légèreté, mais en réalité une question de moyens, de *modus faciendi*. Si le sulfure de carbone a souvent été nuisible à la vigne, ce n'est pas toujours à lui qu'il faut s'en prendre, mais à des emplois défectueux, et parce qu'on méconnaissait beaucoup trop les principes, c'est-à-dire en violant la méthode et la règle. On ne saurait faire de bonnes opérations avec des à peu près.

Je dois dire que l'époque actuelle est certainement l'une des meilleures pour les applications, car c'est le temps de la pullulation et des migrations souterraines du meurtrier de la vigne; on est dès lors bien plus sûr d'agir directement sur lui. Malheureusement, si l'on veut employer le sulfure de carbone en nature, on est arrêté par le degré élevé de la température; la terre est brûlante, le sulfure s'évapore beaucoup trop vite, et il peut tuer la vigne au moment où elle va produire. Jugez ainsi de ce qu'il adviendrait au sud de l'Europe.

Si, lorsqu'on introduit dans le sol du sulfure de carbone solidifié dans la gélatine, on veut se rendre compte de la marche de l'opération et de la régularité du dégagement souterrain des vapeurs, rien n'est plus facile et plus simple : il suffit de déterrer l'un de ces cubes et de faire la section transversale, ainsi que j'ai eu l'honneur de vous le montrer; on voit exactement ce qui se passe, comme on sait, à l'aide du thermomètre, quelle est la température du milieu dans lequel il est placé. Cette facilité de contrôle est certainement précieuse pour le viticulteur.

La gélatine retient si complètement le sulfure de carbone que celui-ci voyage aujourd'hui par la poste, sous les enveloppes que voici, en compagnie des valeurs et lettres chargées, sans le moindre inconvénient. Cela se fait journellement. Les affirmations ne me suffisent pas, et je désire prouver régulièrement. Voici l'un de ces petits cubes, selon la dénomination consacrée, bien que ce soit un prisme quadrangulaire, ou mieux encore un véritable parallélépipède; il renferme 10 grammes de sulfure de carbone; je le mets en contact avec la flamme de cette bougie, il ne s'enflamme pas. Je fais une section transversale, j'approche de cette même bougie la partie coupée, elle prend feu aussi rapidement que vous l'avez vu tout à l'heure dans ce godet. Les petits jets de flamme continuels que vous pouvez remarquer viennent de ce que le sulfure, chauffé à la surface qui brûle, tend toujours à sortir de sa prison. Néanmoins l'action de retenue est si énergique, que dans un instant, quand la combustion aura cessé, si j'enlève la partie brûlée, vous pourrez juger qu'elle n'est guère que de l'épaisseur d'une carte à jouer. Malgré la chaleur produite par la combustion, les couches sous-jacentes restent intactes, et nous pourrions répéter l'opération vingt ou trente fois avant d'arriver jusqu'à la base du cube. Cet emmagasinement du sulfure de carbone a permis de faire des envois, dès le mois de décembre dernier, à un grand propriétaire chilien, M. Régis

Cortès, de Valparaiso, qui a à se défendre contre les déprédations incessantes des fourmis, et surtout des petits destructeurs du travail humain qui font le désespoir des agriculteurs de tous les pays. Donc, vous le voyez une fois de plus, ce sont aussi les intérêts de l'agriculture qui sont en cause ici; et par conséquent nous ne sommes pas en présence d'horizons étroits et limités, puisque la vue peut s'étendre au loin sur les choses de l'avenir que nous avons tous le devoir de préparer.

J'ai eu l'honneur de vous démontrer qu'il était important de prolonger la durée du dégagement du sulfure de carbone dans le sol. Or, le dernier rapport, très scientifique et très loyalement fait, de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée reconnaît que, au mois de mars, la durée d'action du sulfure de carbone en nature n'excède pas sept à huit jours; au mois de juillet, elle n'est plus que de cinq jours, et au mois d'août, époque des plus grandes chaleurs, de quatre jours seulement. La simple réflexion justifie bien, dans ce cas, la nécessité des réitérations : dans les sols peu profonds, les racines sont traçantes et s'étendent souvent très loin autour des ceps; au contraire, dans les sols profonds, les racines sont pivotantes et elles descendent à de grandes profondeurs. Dans les deux cas, la durée d'action est insuffisante pour permettre aux vapeurs de parvenir, par voie de diffusion, jusqu'à l'extrémité des racines; or, c'est sur *tout* le système radiculaire de la plante qu'il faut agir, et non sur une partie seulement, à peine d'être obligé de recommencer sans cesse, sans oublier la nécessité de l'action prolongée si l'on veut tuer sûrement les œufs et frapper ainsi dans son berceau cette engeance maudite. L'immersion elle-même n'est efficace que parce que sa durée est de près de six semaines.

Toute la vérité doit être dite ici. Il faut que la lumière se fasse quand le pays attend; et dès lors je dois ajouter aussi que, si la durée d'action du sulfure de carbone en nature est insuffisante dans les couches souterraines, ce mode d'emploi a également l'inconvénient de laisser s'échapper dans l'atmosphère, par la surface du sol, la plus grande partie du produit ainsi employé. Et pour ne citer que des textes, voici les déclarations formelles que je relève, sur ce sujet, dans le rapport déjà mentionné de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée :

« On peut facilement constater, en appliquant une cloche à gaz à la surface du sol, dans le voisinage d'un trou d'injection, que l'air qui s'échappe librement de la terre renferme une certaine proportion de vapeurs sulfocarboniques. » (Page 35.)

Les mêmes affirmations précises sont réitérées un peu plus loin, aux pages 38, 40, 41 et 129. « Le sulfure de carbone s'échappe de la terre d'une manière *continuelle*. »

Ces déclarations ont d'autant plus de portée qu'il est impossible d'en méconnaître la compétence, car il s'agit ici d'hommes spéciaux, de faits

bien constatés, et non de simples opinions dont on ne connaît pas toujours le mobile.

Je disais tout à l'heure que le sulfure de carbone employé en nature avait souvent brûlé les vignes; je suis tenu de faire la preuve régulière de ce dire, comme de tous ceux que j'ai avancés ou que j'avancerai encore devant vous.

Il est à ma connaissance que dans la Gironde seulement, autour de Bordeaux, on a brûlé 15 à 20,000 ceps de vignes chez différents viticulteurs, notamment chez MM. Guénant, de la Chassagne, Piola, Prax-Paris, Brunet; et dernièrement encore, M. Baillou, à Vérac, perdait de cette façon ce qu'on appelle trois journaux de vignes, c'est-à-dire un hectare. Mêmes résultats également, cette saison, dans l'Hérault, à Capestang, à Vias, à Sagnes, à Roujan, à Pezénas et à Cers. Ces faits authentiques nous donnent donc la preuve certaine que le sulfure de carbone doit être appliqué à la vigne avec autant de mesure et de circonspection que le chloroforme aux malades.

M. Ménudier, de Saintes, qui représente les intérêts viticoles de la Charente-Inférieure dans la question du phylloxera, disait récemment : « Il ne faut mettre les pals et injecteurs qu'entre les mains d'ouvriers intelligents, adroits et de *bonne volonté,* car sans ces conditions on peut être *sûr* d'arriver à des mécomptes. »

Malheureusement, il faut bien constater qu'un champ n'est pas un atelier et que la surveillance en est extrêmement difficile. Ce soin minutieux qu'exige l'emploi des pals est également reconnu dans le rapport de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, qui constate, en effet, à la page 88, au sujet d'applications satisfaisantes au cap Pinède, près Marseille, que « ces résultats n'ont été obtenus qu'au prix d'une surveillance attentive que l'on ne peut guère exiger des viticulteurs. » Plus loin, page 128 : « Il y a eu jusqu'à 33 p. o/o de vignes brûlées à la suite des applications du sulfure de carbone en nature. » Ce fait est encore confirmé plus loin, à la page 135; seulement, dans ce dernier cas, la proportion est moindre : il s'agit de 23 p. o/o.

Au sujet de la solidification du sulfure de carbone dans la gélatine, M. Chevreul a dit, dans son mémoire à l'Institut (*Comptes rendus de l'Académie des sciences,* séance du 10 juin) : « Je n'ai pas remarqué sans surprise, je l'avoue, l'efficacité du procédé de M. Rohart propre à faire contenir à l'état de mélange plutôt qu'à celui de combinaison un corps aussi volatil et aussi odorant que l'est le sulfure de carbone. »

Ces paroles exigent de moi une explication pour vous faire comprendre la surprise de l'illustre savant. Et tout d'abord permettez-moi, Mesdames et Messieurs, de vous dire combien j'ai été heureux de ce témoignage. L'invention, c'est trop souvent le calvaire, et je crois pouvoir vous assurer que rien n'y manque. Mais l'heure de la justice finit toujours par sonner à

l'horloge du temps, surtout quand on a l'honneur et le bonheur de rencontrer sur sa route un savant qui, comme M. Chevreul, est l'une des gloires les plus pures de la France.

L'étonnement, dis-je, du vénérable M. Chevreul en présence de cet état particulier et tout à fait nouveau du sulfure de carbone résulte de ce fait que toute la surface qui forme enveloppe a reçu un quantum de bichromate de potasse servant à tanner la gélatine sous l'influence de la lumière. Pour le prouver, je vais partager en deux le bloc gélatineux que voici; il est comme enfermé dans une gaine de cuir, sans aucune solution de continuité, car le cuir n'est, à proprement parler, que de la gélatine tannée. Ici, il n'y a que la surface qui est dans cet état, puisque l'extérieur seul est actionné par la lumière.

Avant d'aller plus loin, je serais injuste si j'oubliais la mention d'honneur que mérite M. G. Simonin, le jeune collaborateur qui m'assiste, et avec lequel nous avons dû bien souvent réaliser la définition ingénieuse et pittoresque du bon Franklin: « percer une planche avec une scie, et scier une planche avec un clou », comme nous l'enseignait si bien mon vénéré maître M. J. Girardin.

(M. Rohart ouvre un bloc gélatineux et fait voir que l'intérieur est jaunâtre; sous l'action des rayons lumineux, cette couleur jaune passe assez rapidement à la teinte chocolat.)

(A ce moment une détonation se fait entendre.) C'est, dit M. Rohart, l'outre en baudruche que vous avez vue tout à l'heure, dans laquelle on a introduit cinq ou six gouttes de sulfure de carbone. Le liquide s'est évaporé dans l'enveloppe avec une grande facilité. Son point d'ébullition étant très peu élevé, ainsi que j'ai eu l'honneur de vous le dire, il s'est mélangé à l'air contenu dans ce petit récipient, dont la capacité était de quatre à cinq litres, et, malgré le peu de résistance d'une aussi faible membrane, il en est résulté une assez forte détonation. Dans mon usine de Libourne, une explosion formidable s'est produite à peu près dans les mêmes circonstances; elle a occasionné un commencement d'incendie et failli avoir les conséquences les plus funestes, puisque quatre ouvriers ont été blessés et que trois ont été sur le point de perdre la vue.

D'après ce dont vous venez d'être témoins, vous pourrez apprécier ce qui arriverait s'il s'agissait de quelques milliers de mètres cubes d'air. Sauvegarder la vie des autres, en montrant bien les dangers du maniement d'un produit encore inconnu des masses qui devront s'en servir un jour, c'est évidemment accomplir un devoir. Ces faits nous donnent également la preuve que les divers États européens, et avec eux toutes les compagnies de chemins de fer, ont eu raison de classer le sulfure de carbone en nature à côté des produits les plus dangereux, tels que la dynamite, la nitroglycérine, la poudre de guerre, etc.

Une autre conclusion importante que je ne dois pas omettre est celle-ci : lorsqu'on engage le sulfure de carbone dans une combinaison comme les sulfocarbonates, ou qu'on le solidifie à l'aide de la gélatine, il y a perfectionnement et progrès, puisque, dans les deux cas, la salubrité est assurée, en même temps que toutes les chances de dangers contre l'existence d'autrui sont écartées. Cet asservissement de la matière, c'est l'affranchissement du travail, c'est l'homme vainqueur des produits dangereux qu'il a besoin de mettre en œuvre pour produire des utilités, et c'est là que seront l'éternelle gloire et l'éternel honneur de la science et de l'industrie, auxquelles le monde entier doit son bien-être et ses splendeurs. C'est bien, sans doute, d'opérer convenablement la diffusion des vapeurs de sulfure de carbone, mais c'est mieux encore de travailler avec ardeur à la diffusion des idées justes, comme des vérités utiles et des connaissances indispensables.

J'ai eu l'honneur de vous dire, Mesdames et Messieurs, que je vous apportais la bonne nouvelle du salut de la vigne, et la certitude que le chef-d'œuvre de notre grand-père Noé ne périra pas. Il me reste à prouver que je n'ai pas émis là une assertion téméraire, et que les faits connus sont ici les garants de la sincérité de ma parole.

Il y a plus de deux ans, le 9 mai 1876, M. le duc Decazes, grand viticulteur qui s'occupe toujours avec sollicitude de cette question, parlait de résultats *décisifs* obtenus sous ses yeux, et il en faisait part à son collègue du ministère de l'agriculture, M. Teisserenc de Bort. Huit jours après cette première déclaration, l'Association viticole de Libourne, qui compte un grand nombre de praticiens éclairés, rendait à son tour ce témoignage affirmatif et précis : « Les faits connus nous donnent dès maintenant la preuve que la destruction de l'insecte est obtenue dans des *conditions pratiques et économiques* qui rendent la lutte possible, dût-elle être renouvelée tous les ans comme la submersion. » Cette déclaration des viticulteurs eux-mêmes est considérable, surtout quand on songe que c'est après avoir fait différentes applications sur plusieurs milliers de ceps, dans les environs de Libourne, à Catussau, à Saint-Émilion, à Pomerol, et cela dans cinq ou six natures différentes de terrain, que l'Association Libournaise concluait dans les termes que je viens de vous faire connaître. Ceci déjà pourrait suffire à vous montrer que la question est beaucoup plus avancée qu'on ne le croit généralement. Mais ce n'est pas tout. Depuis lors, ces résultats ont été contrôlés et sanctionnés, d'une façon régulière, par des délégués de l'Académie des sciences et du ministère de l'agriculture. Dès le mois de juin 1876, MM. les délégués venaient se joindre à la commission de Libourne, la suivaient partout dans les vignes opérées, pour refaire, après elle, les mêmes constatations, et, finalement, ils concluaient absolument dans le même sens. « M. le

délégué, dit le rapport, a lui-même désigné tous les pieds de vigne qui ont été explorés», et nulle part on n'a pu retrouver la moindre trace d'insecte; le phylloxera avait complètement disparu; en même temps on remarquait que le système radiculaire des vignes traitées se reformait et se comportait d'une manière satisfaisante. MM. les délégués ont signé ce rapport. Depuis cette époque, les applications se sont multipliées; elles ont eu lieu, jusqu'à ce jour, dans vingt-cinq départements dont vous pourrez lire les noms sur le tableau que j'ai fait transcrire là, afin de prouver régulièrement, en y ajoutant aussi la statistique détaillée des principaux centres viticoles dans lesquels d'importantes opérations ont été faites en deuxième et en troisième année, sur des centaines de mille ceps, chez différents viticulteurs. Vous le voyez, tous les départements envahis par le meurtrier de la vigne figurent ici, depuis la Dordogne jusqu'aux confins des Alpes-Maritimes, sans parler de la Suisse, de l'Italie, de l'Espagne, du Portugal, de l'Autriche et du Chili. Ce sont bien là des résultats généraux, et non des faits isolés, et par conséquent aucun doute n'est possible.

Quoi qu'il en soit, et afin d'être complet, je crois ne pouvoir mieux faire que de laisser maintenant la parole aux intéressés.

A la date du 30 novembre dernier, un rapport officiel a été adressé à M. le Ministre de l'agriculture et du commerce par le président du comice de Créon, M. Gras-Cadet, conseiller général de la Gironde et vice-président de la commission du phylloxera, qui s'est rendu, avec d'autres délégués de la viticulture, dans le vignoble de M. Prax-Paris pour y constater les résultats obtenus après deux années d'applications successives. Voici l'un des principaux passages de ce document :

La commission, dans son impartialité, ne saurait passer sous silence, Monsieur le Ministre, les résultats qu'elle a été appelée à constater à Haux, canton de Créon, dans le vignoble du château du Grava, chez M. Prax-Paris, et qui ont été obtenus par l'application des cubes Rohart.

L'emploi de ces cubes, à raison de trois par souche, contenant seulement de 6 à 7 grammes de sulfure de carbone, et revenant de *5 centimes 1/2 à 6 centimes* par pied, a produit un résultat vraiment surprenant.

Ces vignes, qui l'année dernière n'avaient pas de bois de taille, ont maintenant des sarments de 1, 2 et même 3 mètres de long.

18 rangs sur 74 souches ont été traités dans la pièce Amouroux. Ce nouveau vignoble, planté en 1874, est aujourd'hui, dans son ensemble, d'une très belle végétation *et a donné une bonne récolte.*

Une autre pièce de vigne appelée les Joualles rouges a été traitée le 19 février 1877. Ces vignes, qui ont plus de cinquante ans, étaient complètement perdues; elles n'avaient pas même de bois de taille, et elles sont aujourd'hui remarquables par leur vigueur, surtout lorsqu'on les compare aux autres Joualles du voisinage.

A l'appui de ce rapport officiel, voici ce qu'affirme à son tour le chef de culture de M. Prax-Paris, dans un document qui a été rendu public à Bordeaux :

J'ai employé 70,000 cubes dans l'été et l'automne de 1876, sur la propriété du château du Grava, appartenant à M. Prax-Paris, député de Tarn-et-Garonne. Des vignes que nous allions arracher, qui étaient perdues, sans bois de taille et presque dépourvues de racine, ont reçu trois cubes par pied, et, sous leur action, la végétation s'est rétablie, les feuilles sont restées vertes aussi longtemps que celles des vignes indemnes. Les pousses, qui en 1876 mesuraient à peine 25 à 30 centimètres, ont atteint, à l'automne de 1877, 80 centimètres, 1 mètre et même $1^{m},20$, et *pas une seule souche n'est morte.*

Des explorations minutieuses, pratiquées cet hiver et ces jours derniers encore aux pieds les plus malades et dans les foyers, nous ont permis de constater un chevelu nouveau et abondant, un système radiculaire qui se reconstitue et nous assure la reprise des vignes.

Là, Messieurs, cinquante mille ceps, ou dix hectares, ont été traités en deux campagnes. On ne peut donc dire que ce soient des expériences de cabinet. J'ajoute que, à ces témoignages qui ne sauraient être récusés, puisqu'ils reposent sur des faits que chacun peut vérifier quand il le voudra, il est juste de mentionner également les constatations faites par M. le délégué Mouillefert, qui a eu, une fois de plus, l'honneur de confirmer, *de visu*, ces résultats en présence de plusieurs témoins. Nous pouvons d'ailleurs y joindre aussi l'opinion de la vigne elle-même. Il y a à mon exposition des photographies de vignes à des états différents, avant et après le traitement, non seulement les organes foliacés, mais tous les organes souterrains. A l'origine et avant les applications, le système radiculaire était à peu près détruit; au contraire, après le traitement on peut remarquer notamment une racine tout entière qui n'a pas moins de trois mètres de longueur et provient d'une de ces vignes qui étaient condamnées à mort. Elles sont toutes actuellement dans cet état; on allait les détruire il y a deux ans, et c'est grâce à l'énergie de l'homme intelligent et laborieux qui dirige les travaux agricoles chez M. Prax-Paris que ces vignes ont été sauvées. Il a demandé qu'on lui permît de faire une dernière tentative, et cette tentative a été le salut.

Un détail que j'allais oublier, c'est que M. Boiteau, qui s'est occupé avec beaucoup de dévouement et de zèle de la question du phylloxera, présentait dernièrement au *Groupe girondin pour l'avancement des sciences*, à Bordeaux, des ceps de vigne traités de la même façon qu'il avait déterrés dans la propriété voisine de la sienne, chez M. Baillou, et dont le système radiculaire était dans des conditions véritablement surprenantes. Après cela, nous pouvons donc dire, sans métaphore exagérée : La vigne a parlé, et c'est un langage muet qui en vaut beaucoup d'autres. Précédemment, M. Baillou lui-même a témoigné dans le même sens favorable au dernier Congrès viticole. Le comice de Béziers avait également affirmé, de son côté, les mêmes conclusions. Je rappelle encore que la ferme-école de la Gironde doit adresser au Ministre de l'agriculture un rapport non moins formel sur les résultats qu'elle a obtenus. Enfin, dans ces derniers temps,

M. le marquis de Jocas, l'un des lauréats de la prime d'honneur de l'agriculture, a confirmé publiquement des faits analogues réalisés par lui dans le Vaucluse.

Après cet ensemble de faits pratiques, portant sans interruption sur une période de trois années, n'est-on pas fondé à dire, Messieurs, qu'il y a là plus que des espérances, et que certainement nous sauverons cette vieille vigne gauloise qui est tout à la fois la gloire, la fortune et la joie de la France?

Messieurs, j'avais l'intention d'examiner en détail les objections et l'économie du sujet; mais comme l'heure nous presse, je vais glisser rapidement sur les objections proprement dites, ou plutôt les réfuter le plus brièvement que je pourrai, car je tiens absolument à ne laisser aucun point dans l'ombre.

On a émis des doutes au sujet de l'action du sulfure de carbone à dégagement lent; on s'est demandé si ce dernier serait réellement suffisant pour tuer le petit monstre. A ce doute les faits acquis répondent, et quand ils ont prononcé d'une manière si décisive et avec tant d'éclat, il n'y a plus guère de place pour un peut-être. On sait d'ailleurs, de la façon la plus positive, que quelques cent millièmes de vapeur de sulfure de carbone tuent sûrement l'insecte. Du reste, rien n'est plus facile que d'accélérer le dégagement: il suffit, pour cela, de déchirer le cube gélatineux au moment où on le dépose dans les couches profondes du sol. On multiplie ainsi à volonté les surfaces d'émission et d'évaporation du sulfure, absolument comme s'il s'agissait de régler l'écoulement d'un liquide par un robinet. Donc l'objection est sans valeur, et tous les résultats connus le prouvent.

On s'est demandé aussi si, dans les temps de grande sécheresse, la siccité du sol ne serait pas un obstacle à l'émission des vapeurs de sulfure de carbone. Je réponds catégoriquement : Non, et j'apporte la preuve à l'appui de mon assertion. Dès le 23 avril dernier, j'ai été informé qu'il n'était pas tombé une goutte de pluie dans le Var depuis dix mois; or, en dépit de cette sécheresse exceptionnelle et vraiment désolante, l'action du sulfure émulsionné dans la gélatine n'en a pas moins été satisfaisante. Le fait a été constaté non seulement par M. Gubert, qui est en première ligne parmi les viticulteurs les plus éclairés de la contrée, mais aussi par la Société d'agriculture de Draguignan, dont les délégués ont assisté aux opérations. En effet, M. L. Gubert dit, à la date que je viens d'indiquer : «Mes vignes sont atteintes depuis trois ans, et j'ai commencé l'année dernière à les traiter par une application de deux cubes seulement par pied de vigne. J'ai obtenu un résultat très heureux sur les vignes qui n'étaient atteintes que de l'année; j'ai pu, sur celles-là, avoir une récolte complète, et, à la taille, les *coursons* étaient aussi vigoureux que l'année précédente.»

Ici, permettez-moi de le constater, ce ne sont ni des déductions, ni des

théories, ni des appréciations personnelles, c'est la viticulture elle-même qui parle et qui répond. Par conséquent, le fait d'une sécheresse prolongée de dix mois consécutifs n'a point été un obstacle à l'action efficace du sulfure de carbone solidifié. N'oublions pas d'ailleurs qu'à 40 ou 50 centimètres de profondeur, c'est-à-dire dans la région des racines, il y a toujours un quantum d'humidité suffisant pour entretenir la végétation normale des plantes; s'il en était autrement, il est évident que la vigne périrait.

On s'est encore demandé si l'action du sulfure de carbone était capable de détruire les œufs du phylloxera, ou au moins de stériliser les germes. Mais ici on a oublié un point important dans la donnée du problème : c'est qu'il faut nécessairement tenir compte du temps durant lequel il y a contact entre le sulfure et les œufs. Il est évident que l'effet ne peut pas être instantané, immédiat. Après un délai très court, il se peut que le germe fécond de l'œuf, que l'embryon proprement dit ne soit pas rendu infécond; mais après un contact prolongé le résultat n'est pas douteux. Cela est tellement vrai que M. Boussingault, le plus éminent des agronomes de notre époque, a constaté que le germe fécond des céréales peut être stérilisé par la vapeur de sulfure de carbone quand l'action est suffisamment prolongée, et cela bien que l'embryon soit préservé par le périsperme et le testa ou pellicule extérieure qui l'enveloppent et le recouvrent si bien. On sait parfaitement aussi que même les œufs d'oiseaux, dont l'embryon est défendu par une coquille en même temps que par la membrane vitelline, n'en subissent pas moins l'influence des milieux gazeux; et par un phénomène d'endosmose bien connu, il est également prouvé qu'il y a pénétration et échange des gaz, même à travers les parois d'un ballon en caoutchouc; à plus forte raison quand il ne s'agit que de simples membranes comme celles des œufs du phylloxera et des autres aphidiens, qui ne sont que de petites cuticules de la plus faible épaisseur connue, mais surtout quand on considère que la durée d'action du toxique est de cent jours au moins, dans le cas qui nous occupe.

Ne l'oublions pas, négation et doute ne sont trop souvent que des mots derrière lesquels s'abritent ceux qui ne peuvent laisser voir qu'ils ne savent pas assez. Cela s'explique parfaitement pour tout le monde, mais surtout quand on se rappelle que Napoléon I[er] lui-même a douté de la puissance de la vapeur, aujourd'hui la reine du monde, et que, depuis lors, l'un de nos hommes d'État les plus remarquables a nié la possibilité pratique des chemins de fer. Mais, heureusement pour nous et pour les progrès les plus réels de la civilisation moderne, il y avait derrière les hauteurs de ces favoris de la gloire et du succès des hommes spéciaux, de simples ingénieurs, des chercheurs laborieux et persévérants qui n'affirmaient que ce qu'ils savaient bien, que ce qu'ils avaient bien vu, et qui ont ainsi prouvé, une fois de plus, toute la justesse de ce mot de

Descartes : « L'intelligence humaine est infaillible quand elle ne prononce que sur ce qu'elle aperçoit nettement, clairement, distinctement. »

Dans la question qui nous occupe, il n'y a plus rien à prouver, les preuves sont faites, l'évidence est là, et quels que soient les motifs des résistances inavouables, le temps et la vérité sauront bien en triompher. Le doute, c'est le baptême de l'invention, de toutes les inventions, et il n'est que trop souvent exploité avec beaucoup de perfidie, même quand un malheur public est en cause et que l'intérêt de la patrie est en jeu.

A propos de l'économie du sujet, je ne dois pas omettre de compléter ce que j'avais l'honneur de vous dire il y a quelques instants, que dans les sulfocarbonates il y a un quantum de potasse, toujours utile à la végétation, et représentant une valeur agricole qui peut être calculée, d'après les quantités généralement employées, de 70 à 80 francs par hectare. Quant à la gélatine, c'est une matière azotée plus riche que le guano lui-même. En effet, les meilleurs guanos du Pérou ne renfermaient guère que 10 à 12 p. 0/0 d'azote, tandis que la gélatine en contient 14 à 16 p. 0/0 : elle agit donc ainsi au profit de la végétation, comme le sel de potasse dans le produit préconisé par M. Dumas; c'est une valeur qui peut représenter 40 à 50 francs par hectare, au point de vue de l'alimentation végétale. Le sulfure de carbone en nature est une non-valeur agricole; il n'apporte rien, puisqu'il s'évapore sans laisser quoi que ce soit d'utile dans le sol. Remarquez, Messieurs, qu'ici je ne discute pas; je dis simplement ce qui est, je signale des faits connus, je me contente de mettre en lumière tout ce qui peut élucider la question et l'économie agricole du sujet. Quand on est honnête et sincère, on n'éprouve jamais le besoin de faire violence à la vérité; on ne lui commande pas, on la respecte et on lui obéit.

On s'est encore posé cette question : Ne serait-il pas plus simple, et plus économique surtout, d'employer le sulfure de carbone en nature, au lieu de le prendre manutentionné, mélangé avec la gélatine, ou engagé dans une combinaison avec un sulfure alcalin? La question mérite examen : on ne fait pas du travail productif avec des illusions, mais avec des chiffres et des données positives; et pour rester dans la vérité des principes, il faut bien comprendre que le prix des choses, considéré en lui-même, ne dit absolument rien. Ce qu'il faut voir, c'est le rapport du produit à la dépense, ou, si vous l'aimez mieux, l'économie du résultat, c'est-à-dire l'effet utile et le prix de revient. Voyons quelques exemples.

La journée d'un faucheur se paye 3 francs en moyenne; celle d'une faucheuse mécanique coûte 50 francs : évidemment, c'est la machine qui représente le plus gros déboursé; mais si, dans les deux cas, on cherche le rapport entre le rendement et la dépense, on voit que le résultat économique donné par la faucheuse est plus avantageux que celui de l'emploi du faucheur à bras. Il y a mille exemples pareils. Que fait à

l'industrie d'avoir du charbon à 10 francs, s'il lui en faut consommer trois fois plus que du charbon à 20 francs? De même encore, pour me servir d'une comparaison qui se rapproche davantage de notre sujet, l'éther en nature coûte meilleur marché que la perle d'éther; mais, à l'usage, on perd vingt gouttes de ce dernier pour introduire seulement deux gouttes dans l'estomac : d'où il résulte, en définitive, que la perle d'éther, bien que coûtant plus cher, représente une dépense moindre, parce qu'il n'y a pas de déperdition. C'est juste la même chose pour ce qui concerne le sulfure de carbone en nature, ou le même agent emprisonné dans la gélatine. Que m'importe, à moi, consommateur, le prix de vos unités de valeur si je dois en employer dix, vingt, trente fois plus que de besoin, parce que vous en envoyez la plus grande partie en fumée dans l'atmosphère! La conclusion économique est donc celle-ci : c'est qu'il vaut mieux employer pour 5 francs d'or que pour 6 francs d'argent; c'est que le bon marché apparent peut n'être qu'un mot, un trompe-l'œil, un pur mirage et un leurre, quand on ne va pas au fond des choses et qu'on ne se préoccupe pas assez de l'économie des résultats.

Ici nous sommes en présence de deux moyens; il s'agit de savoir ce qu'ils valent, et vous allez pouvoir juger, par le parallèle que je vais résumer entre le sulfure à dégagement rapide et le sulfure à dégagement lent, lequel des deux doit mériter la préférence. Je reste dans la réalité des faits constatés jusqu'ici, sans autre pensée que celle-ci : faire la lumière. A chacun de conclure.

Le sulfure de carbone en nature est dangereux à manier : je vous l'ai prouvé non seulement par l'explosion, mais encore par la facilité avec laquelle il a raison des animaux à sang froid et à sang chaud qui sont soumis à son action. Au contraire, le sulfure de carbone combiné dans les sulfocarbonates ou solidifié dans la gélatine n'offre aucun danger.

Pour le sulfure en nature un instrument spécial est nécessaire, tandis que pour le sulfure émulsionné le plantoir ordinaire peut être employé quand le sol n'est ni compact ni durci par la sécheresse. D'un côté, il faut des ouvriers exercés; de l'autre, c'est inutile. Avec le sulfure en nature, la main-d'œuvre est considérable; elle l'est très peu dans l'autre cas, puisqu'une seule application suffit quelquefois, au lieu de quatre; d'un côté encore, une surveillance incessante est obligatoire, si l'on ne veut s'exposer à tuer la vigne; de l'autre, au contraire, cette surveillance n'est nullement nécessaire, et il est *impossible* de faire mal à la plante.

L'emploi du sulfure de carbone en nature ne laisse pas de trace après le travail, de sorte qu'on ne peut savoir si l'ouvrier s'en est bien ou mal acquitté, tandis qu'avec le sulfure emprisonné dans la gélatine il n'y a pas de tricherie possible, par la raison toute simple qu'il reste une preuve matérielle, un témoin, l'objet lui-même, qu'on peut rechercher au besoin.

Nous avons vu, d'autre part, que le sulfure de carbone à dégagement rapide se perd en partie par l'évaporation à travers le sol; au contraire, avec le sulfure de carbone à dégagement lent, pas de déperdition. Dans le premier exemple également, la durée de l'action est, au maximum, de sept jours; dans le second exemple, elle dure jusqu'à cent vingt jours. Ici, dégagement non réglé, brusque, passager; là, dégagement réglé, continu, méthodique et prolongé.

Enfin le sulfure de carbone en nature ne laisse rien pour l'alimentation de la vigne, tandis que le sulfocarbonate lui apporte un alcali utile, la potasse, et que le sulfure émulsionné à l'aide de la gélatine fournit au sol une matière azotée qui sert d'aliment à la plante. Veuillez, Messieurs, le remarquer encore, il n'y a ici aucune théorie ni opinion personnelle, mais uniquement des faits authentiques et prouvés.

Pour ce qui est du prix de revient du traitement au sulfure de carbone en nature, un viticulteur de l'Hérault, M. Duffour, a déclaré au Congrès international de l'agriculture que deux applications seulement lui étaient revenues à 310 ou 320 francs par hectare; il a omis de dire que ce n'était là qu'un demi-traitement, puisque la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée prescrit quatre applications; ce qui ferait, pour le traitement complet, une dépense de 620 à 640 francs par hectare, ou au minimum 12 centimes 1/2 par cep, en comptant sur 5,000 par hectare moyen. Le devoir, ici, c'est la vérité, et tout doit être dit.

Voyons maintenant ce que coûte le traitement au moyen du sulfure de carbone à dégagement lent. Le comice agricole de Créon, et avec lui un grand nombre de viticulteurs propriétaires qui ont vu les 50,000 ceps traités, ont déclaré, après examen d'une comptabilité parfaitement régulière, que la dépense ressortait de 5 centimes 1/2 à 6 centimes par cep, soit 300 francs pour un hectare de 5,000 ceps. Ces chiffres ont été également confirmés dans le Var par MM. Gubert.

Au point de vue de l'économie sociale, c'est-à-dire de l'intérêt de la communauté, il n'est pas douteux que la vraie solution est celle qui obtient le maximum d'effet utile en dépensant le minimum de produit : d'où cette autre conclusion que la qualité, c'est-à-dire l'*état* de la chose employée, est aussi une valeur, en économie agricole comme en économie domestique. Nos bonnes et excellentes ménagères le savent si bien qu'elles recherchent toujours avec un soin réfléchi, dans leurs achats journaliers, les *maxima* de durée.

Il y a partout des enseignements utiles, quand on a simplement le soin de regarder les choses d'un peu près, au lieu de les voir avec les yeux d'autrui, ou au moins à travers les lunettes souvent brouillées de son voisin. Voilà pourquoi j'ai tenu à vous présenter des chiffres. C'est surtout dans les questions d'économie générale qu'il importe d'être net et de pré-

ciser. Vous voyez donc, Messieurs, combien les succès qui ont été constatés partout où l'on a opéré avec soin donnent raison à l'idée économique émise dès l'abord par M. Dumas avec une justesse étonnante : « Il y aurait, disait-il, *économie* à diminuer la volatilité du sulfure de carbone (parce qu'on en emploierait moins) et à rendre son action à la fois plus lente et plus prolongée. »

Ici encore, un grand et salutaire enseignement : c'est que tout ce qui représente du travail utile n'est, en réalité, que de la science bien appliquée. En effet, nous avons pu constater que, grâce à l'action ménagée et graduée, la dépense est moindre et le résultat plus certain encore. Ce desideratum formulé par le maître est donc aujourd'hui véritablement réalisé, puisque les conditions requises pour arriver à la solution pratique et économique se trouvent désormais remplies. Prouvons une fois de plus. Après M. Dumas, le délégué, M. Mouillefert a dit : « L'*idéal* serait une matière utile à la végétation, retenant le sulfure de carbone comme on retient la vapeur, et distribuant le produit aux racines malades d'une façon régulière et continue pendant toute la période de végétation. »

Eh bien! cet idéal entrevu comme un rêve, ou au moins comme une espérance, est devenu une réalité, une certitude, et surtout une vérité dans cet état nouveau du sulfure de carbone solidifié à l'aide de la gélatine, particulièrement dans la façon dont le produit se comporte dans les profondeurs du sol.

Messieurs, un mot encore pour terminer et pour répondre aussi à cette dernière objection qui consiste à dire que les producteurs de vins à bas prix ne pourront *peut-être* pas supporter les frais d'un pareil traitement. L'objection est plus apparente que réelle, et il faut bien finir toujours par voir les choses dans leurs conclusions pratiques. Nous avons, en effet, la preuve que des applications avantageuses ont été faites, en deuxième et troisième année, dans l'Hérault, dans le Var, dans le Vaucluse et dans la Drôme, pays où cependant les vins sont à bas prix. N'oublions pas d'ailleurs qu'un traitement de 5 à 6 centimes par cep, c'est à peine le prix d'une modeste fumure, et dès lors on n'est pas fondé à dire que ce soit là une dépense qui dépasse les moyens ordinaires d'exploitation du sol. Mais il y a ici une distinction tout à fait capitale à établir. La récolte, ce n'est pas toute la question, car si la production même est anéantie il n'y a plus de revenu à espérer; c'est *tout* qui peut être perdu, si l'on n'agit pas; par conséquent, il ne faut pas voir uniquement la valeur du produit que donne un vignoble, il faut tenir compte nécessairement de la valeur même de la plante, et également de la valeur foncière. Vous savez que certains terrains sont impropres à toute autre culture que celle de la vigne. Or un cep en rapport ne vaut pas moins de 1 fr. 50 cent., et c'est le minimum. Comment dès lors peut-on concevoir qu'on discute ce que j'appel-

lerai la prime d'assurance de 5 à 6 centimes pour sauver non seulement cette valeur de 1 fr. 50 cent., mais en même temps le fond, qui représente le capital engagé, et assurer aussi le revenu? Donc l'objection ne résiste pas à l'examen.

Il ne faut pas oublier non plus que, fatalement, les applications du traitement finiront par se généraliser au nom du salut public; car enfin la vigne, c'est la fortune de la France, et elle ne peut pas périr. Or, du jour où ces applications deviendront générales, il est évident que la question changera complètement de face pour les propriétaires. La raison en est toute simple : si le prix de revient des récoltes de la vigne augmente pour tous les producteurs, le prix de vente augmentera proportionnellement, et ce sera de toute justice. Que fait l'agriculture dans les années malheureuses où une partie de ses récoltes est détruite? Comment se rembourse-t-elle de toutes les avances qu'elle fait au sol? Comment l'industrie des sucres, des alcools, des bougies, et le commerce des vins lui-même se couvrent-ils des impôts qui les frappent et qu'ils déboursent d'abord? Sur le prix des marchandises qu'ils livrent à la consommation. Qui a payé les millions qu'a coûté le guano du Pérou et qu'a employés toute l'agriculture européenne? c'est la consommation. De même pour la viticulture. Par conséquent, le jour où le traitement se généralisera, tous les producteurs étant soumis à la même règle, s'il y a augmentation du prix de revient des vins, le producteur se remboursera à la vente et le consommateur devra en subir les conséquences. Voilà la règle, et il est impossible de concevoir une autre solution. J'ajoute aussi que, dans l'avenir, la question se simplifiera beaucoup et voici pourquoi : tout à l'heure nous parlions de la nécessité de quatre applications du traitement par le sulfure de carbone en nature, comme de la nécessité de mettre trois de ces cubes au pied de chaque cep : c'est que, dès la première année, on a intérêt à mettre hors de combat le plus grand nombre d'ennemis possible; mais dans les années suivantes une seule application avec un seul cube par cep devra suffire, j'en suis fermement et sincèrement convaincu, parce qu'on aura déjà anéanti les neuf-dixièmes des assaillants et que, dès lors, il sera facile de défendre la place avec le minimum d'agents destructeurs. Enfin, dernier détail, le prix de ces cubes, qui aujourd'hui coûtent aux viticulteurs deux centimes, baissera à mesure que la consommation s'en développera; j'ai dès aujourd'hui la certitude de pouvoir les faire descendre à un centime et demi, et peut-être, dans un avenir rapproché, à un centime. Or, quand dès la première année l'attaque aura été vigoureuse, générale, il sera facile de se défendre ensuite au moyen d'un seul de ces cubes, ce qui réduira la dépense à un centime par cep. Quant à l'anéantissement complet et absolu de l'insecte sur tout le territoire, nul n'oserait en répondre. D'ailleurs, veuillez le remarquer, la vaccine ne nous a pas déli-

vrés de la variole, mais elle a permis à l'espèce humaine, considérée dans son ensemble, de continuer la marche normale de ses évolutions, de se développer, d'allonger la moyenne de l'existence, de croître et de multiplier selon la loi divine. De même, le soufre ne nous a pas débarrassés de l'oïdium, mais il est pour la vigne un moyen puissant et efficace de défense, car à son aide la précieuse plante ne saurait succomber sous les étreintes du cryptogame, et finalement elle nous donne sa récolte normale. C'est ce que fera certainement le sulfure de carbone à l'égard du meurtrier de la vigne, et c'est là l'essentiel.

Je crois qu'il est temps enfin de conclure. Comme j'ai eu l'honneur de vous le dire au début, j'ai tenu à rester dans les limites tracées par la pensée qui a déterminé le programme des conférences du Trocadéro : « Mettre en lumière les enseignements industriels et économiques que comporte l'Exposition des produits réunis au Champ de Mars. » Ma conclusion rentre donc absolument dans le cadre de ce programme, mais en ajoutant aussi qu'une industrie nouvelle est dès maintenant créée, au profit de la viticulture et de l'agriculture, et ce côté de la question ne devait pas être oublié, puisqu'il n'y a de durable ici-bas que les utilités.

Je viens, Messieurs, de vous entretenir d'une création nouvelle, représentée par un bien petit objet, mais qui, en réalité, n'est rien moins qu'une sorte de mitrailleuse à phylloxera, qu'un générateur de vapeur de sulfure de carbone toujours en pression, pouvant fonctionner seul dans le sol pendant cent jours, sans que personne s'en occupe par conséquent, et cela moyennant une dépense de 1 centime et demi à 2 centimes. On ne connaissait pas jusqu'ici de producteur de vapeur à action continue se suffisant à lui-même. Le voilà cependant ; et je n'hésite pas à dire que si, dès l'origine, on avait posé dans ces termes les conditions du problème à résoudre, personne probablement n'eût osé en espérer la solution ; et si j'en appelle au témoignage de ma conscience, je me sens autorisé à déclarer qu'il me paraît vraiment impossible de trouver un moyen tout à la fois plus pratique, plus efficace, plus économique et plus simple. Je ne fais pas de panégyrique, il n'y a ici que des vérités et des réalités qui s'affirment au grand jour, et je reste avec cette sincère et forte persuasion, bien réfléchie, que l'avenir ne me démentira pas.

Devant l'ensemble des faits et des résultats que j'ai eu l'honneur de vous exposer, je crois donc avoir le droit de conclure en disant que, si l'Europe entière a cherché, comme nous, la solution, j'ai la ferme conviction que c'est encore à la France que reviendra le glorieux honneur de l'avoir trouvée. (Applaudissements.)

La séance est levée à 4 heures.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.







